

THÈSE

présentée devant

L'UNIVERSITÉ DE NANCY I

pour obtenir le grade de

DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

par

Jean-Paul RENARD

ETUDE PÉTROGRAPHIQUE ET GÉOCHIMIQUE DES GRANITES

DU DISTRICT URANIFÈRE DE VENDÉE

LIAISONS ENTRE L'ÉVOLUTION MINÉRALOGIQUE ET LE COMPORTEMENT DE L'URANIUM

CONSÉQUENCES POUR LA PROSPECTION

Soutenue publiquement le 30 novembre 1971, devant la Commission d'Examen

MM. M. ROUBAULT, Membre de l'Institut, *Président*

R. COPPENS

G. JURAIN

H. de la ROCHE

A. GERSTNER

} *Examineurs*

THÈSE

UNIVERSITÉ DE PARIS VI

DOCTEUR EN SCIENCES GÉOLOGIQUES

Jean-Paul RENARD

Digitized by the Internet Archive
in 2026

ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET GÉOCHIMIQUE DES GRANITES
DU DISTRICT URANIFÈRE DE VENDÉE

LIAISONS ENTRE L'ÉVÉNEMENT MINÉRALOGIQUE ET LE COMPORTEMENT DE L'URANIUM
CONSEQUENCES POUR LA PROSPECTION

Présentée publiquement le 10 novembre 1975, devant la Commission d'Examen

M. M. RENARD, Membre du Comité Académique
M. L. RENARD
M. L. RENARD
M. L. RENARD

THÈSE

présentée devant

L'UNIVERSITÉ DE NANCY I

pour obtenir le grade de

DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

par

Jean-Paul RENARD

ETUDE PÉTROGRAPHIQUE ET GÉOCHIMIQUE DES GRANITES
DU DISTRICT URANIFÈRE DE VENDÉE

LIAISONS ENTRE L'ÉVOLUTION MINÉRALOGIQUE ET LE COMPORTEMENT DE L'URANIUM
CONSÉQUENCES POUR LA PROSPECTION

Soutenue publiquement le 30 novembre 1971, devant la Commission d'Examen

MM. M. ROUBAULT,	Membre de l'Institut, <i>Président</i>	
R. COPPENS		} <i>Examineurs</i>
G. JURAIN		
H. de la ROCHE		
A. GERSTNER		

THÈSE

présentée devant

L'UNIVERSITÉ DE NANCY I

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN SCIENCES NATURELLES

par

Jean-Paul RENARD



ETUDE PÉTROGRAPHIQUE ET GÉOCHIMIQUE DES GRANITES

DU DISTRICT URANIÈRE DE VENDÉE

LIENS ENTRE L'ÉVOLUTION MINÉRALOGIQUE ET LE COMPORTEMENT DE L'URANIUM

CONSEQUENCES POUR LA PROSPECTION

Soutenue publiquement le 30 novembre 1971, devant la Commission d'Examen

M. et M. ROUBAUD, Membres de l'Institut National

R. CORMIER

G. JIRASS

Examinateurs

M. de la ROCHE

A. LEBLANC

AVANT-PROPOS

* * *

Il m'est un agréable devoir de remercier ceux qui m'ont conseillé pour mener à terme ce travail, bilan de six années de recherches effectuées en équipe.

Ma plus respectueuse et profonde gratitude va à Monsieur le Doyen, Marcel ROUBAULT, Membre de l'Institut, initiateur de mon métier de géologue et de ma participation aux recherches développées sur l'uranium avec la collaboration du Commissariat à l'Energie Atomique (C.E.A.). M'ayant accueilli dans le groupe des chercheurs de Nancy, il me fait l'honneur de présider mon jury.

Monsieur le Professeur R. COPPENS, Directeur adjoint au Centre de Recherches Radiogéologiques, m'a enseigné la radiogéologie ; son autorité bienveillante est guidée par l'art de respecter les recherches accomplies en continuité avec les travaux antérieurs. Je le prie de bien vouloir agréer l'expression de ma respectueuse gratitude.

Monsieur le Professeur G. JURAIN, m'ayant pris en charge, m'a honoré de son intérêt porté à la progression de mes études et a dirigé les travaux géochimiques, objet de ce mémoire. Il a constamment collaboré à l'oeuvre commune, y consacrant un temps précieux malgré ses nombreuses obligations inérentes à l'Enseignement. Ayant eu la chance de bénéficier de son savoir désintéressé et de ses initiatives, l'auteur lui exprime avec modestie, sa plus sincère reconnaissance.

Monsieur A. GANGLOFF, Chef du Département des Prospections et des Recherches Minières du Commissariat à l'Energie Atomique a accordé le plus grand intérêt à la collaboration qui s'est instaurée entre les géologues du C.E.A. et les chercheurs de Nancy.

Monsieur A. GERSTNER, Chef du Service des Recherches de la Division Minière de Vendée, me fait aujourd'hui le vif honneur d'être membre invité à mon jury. Je lui exprime ma reconnaissance pour m'avoir prodigué sa compréhension constante dans la poursuite dynamique du travail entrepris sur le district uranifère de Vendée.

Monsieur H. de LA ROCHE, sous-Directeur du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques m'a fait l'honneur de consacrer son attention à la présentation de ses méthodes préconisées en géochimie des éléments majeurs et a beaucoup contribué à éclaircir la rédaction de ce mémoire. Ayant profité de ses conseils avisés, je lui exprime ma profonde reconnaissance.

Monsieur P. BLAZY, Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie, m'a dispensé son soutien moral encourageant. J'ai été constamment honoré de son aide précieuse étayée d'excellentes conditions matérielles. Qu'il veuille bien agréer l'expression de ma sincère gratitude.

A Messieurs les Professeurs des Sciences de la Terre et de l'Université de Nancy I, et particulièrement à Messieurs J. HILLY et F. LEUTWEIN, j'exprime ma profonde reconnaissance pour l'expérience qu'ils ont su me prodiguer, ainsi qu'à Messieurs BERNARD, BOLFA et ROCCI. Monsieur J. HILLY a honoré mes publications d'une attention toute particulière avant d'en assurer l'édition. Qu'il en soit bien vivement remercié.

J'ai eu l'honneur d'avoir de fructueux entretiens avec Monsieur F. LEUTWEIN et Monsieur J. SONET qui m'ont aimablement communiqué des résultats géochimiques inédits, ainsi qu'avec Messieurs P. ISNARD, J.L. MALLET et P. GRANDCLAUDE, me recevant toujours en ami.

Sous l'égide de Monsieur A. PUGHON, Directeur de la Division Minière de Vendée, d'excellentes relations se sont instaurées et renforcées entre les équipes du C.E.A. et les chercheurs de Nancy. Les études sont fondées sur les levés de terrain émanant du Service des Recherches successivement dirigé par Messieurs M. MOREAU et A. GERSTNER qui ont assuré la mise en oeuvre d'importants échantillonnages de surface et de fond, tout en facilitant les entretiens par leur ouverture d'esprit. Je leur suis profondément reconnaissant d'avoir favorisé une excellente ambiance d'accueil et d'avoir animé de passionnants débats. Que Messieurs AREVIAN, DEBEUNS, DURAND, TAYEB, ingénieurs géologues, Monsieur PONCET, Messieurs les Prospecteurs et les membres du Personnel soient tous bien vivement remerciés pour leur collaboration efficace sur la Division Minière de Vendée. Je remercie bien Monsieur H.G. CARRAT Ingénieur en Chef, pour nos échanges d'opinions et nos tournées sympathiques sur le terrain sur le Morvan et pour son organisation matérielle.

J'ai bénéficié d'analyses aimablement communiquées par Monsieur BRANCHE, Chef du Service de Minéralogie de Fontenay et des puissants moyens analytiques offerts grâce au quantomètre dirigé par Monsieur K. GOVINDARAJU au C.R.P.G. Par la vivacité

des équipes de Monsieur MOREL en fluorimétrie et de P. RICHARD en spectrométrie gamma, des analyses de qualité ont pu être groupées. La préparation parfaite des échantillons a été réalisée par les soins de M. METIN et du Personnel du C.R.P.G.

Mes camarades BARBIER, DOTTIN, KURTBAS m'ont réservé les contacts les plus cordiaux, ainsi que les chercheurs que je ne peux pas tous citer ; J.M. STUSSI s'est révélé un ami et critique bienveillant pour mes écrits. L'équipe de M. RICHARD, Mme CANIVET, M. VOINOT a entretenu une heureuse ambiance de travail.

Messieurs P. PERRIN et L. MULLER assumant successivement la fonction de Secrétaire Général à l'E.N.S.G., ont aplani les difficultés administratives avec beaucoup de doigté, me procurant ainsi d'excellentes conditions matérielles, ainsi que M. BRISTIEL au C.R.P.G.

Mesdemoiselles BOURQUARD, BURTE, DEVIOT, m'ont facilité avec tact tous les problèmes de Comptabilité et de Secrétariat.

Les difficultés graphiques ont été surmontées grâce aux compétences de M. LESTREIT aux Sciences de la Terre, de M.C. FAYE qui a pris en charge le montage des photos et les réductions des planches, de M. COLLIN qui a mené à terme l'exécution des dessins avec beaucoup de conscience.

Je rends un hommage respectueux à la compétence et au dévouement du Personnel du C.R.R. tout au long de la réalisation de mon mémoire.

A l'E.N.S.G., je tiens à remercier vivement M. R. CUNY et Madame FERRARI, pour leur expérience précieuse développée au cours des opérations de tirage et d'assemblage des volumes.

Il m'est agréable de rendre un respectueux hommage à Mademoiselle DAMIAN qui a exécuté avec efficacité, le travail difficile de frappe des Stencils.

TABLE DES MATIERES

* * *

INTRODUCTION

I	- <u>DONNEES GENERALES</u>	1
II	- <u>OBJECTIFS</u>	2
III	- <u>DEMARCHE METHODOLOGIQUE</u>	2
IV	- <u>ECHANTILLONNAGES</u>	3
V	- <u>OPERATIONS TECHNIQUES DE LABORATOIRE</u>	4
	A - Traitement chimique des échantillons.....	4
	B - Interprétation des éléments majeurs.....	4
	C - Dosage de l'uranium en traces.....	5
	D - Dosage du thorium.....	6
	E - Méthode d'autoradiographie.....	6
	F - Détermination à la microsonde électronique de Castaing.....	6
	G - Séparation des minéraux.....	7
	H - Calculs automatiques.....	7
VI	- <u>PLAN DU MEMOIRE. SON ORIENTATION</u>	7
	<u>PREMIER CHAPITRE</u> : <u>LA VENDEE ET SON HISTOIRE GEOLOGIQUE D'APRES LES</u> <u>TRAVAUX ANTERIEURS</u>	8
I	- <u>SITUATION GEOGRAPHIQUE. APERCU GEOMORPHOLOGIQUE</u>	8
II	- <u>UNITES GEOLOGIQUES</u>	10
	A - Historique.....	10
	B - Unités majeures.....	11
	C - Les massifs granitiques de l'axe Nantes-Parthenay.....	15
	1° - Forme des massifs.....	15
	2° - Relations avec l'encaissant et les grandes déformations ré- gionales.....	15
	3° - Variations internes des massifs.....	17
	4° - Relations avec la Bretagne et le Linousin.....	19
	5° - Ages des granites.....	19
	D - <u>CONCLUSION</u> : CARACTERES GENERAUX DU MASSIF DE MORTAGNE.....	20

<u>SECOND CHAPITRE</u> : <u>CARACTERES PETROGRAPHIQUES ET GEOCHIMIQUES DES GRANITES DU MASSIF DE MORTAGNE. TENDANCES EVOLUTIVES MAJEURES</u>		22
I -	<u>CONDITIONS DE GISEMENT DU MASSIF</u>	22
	A - Dimensions. Forme. Limites.....	22
	B - Position structurale.....	22
	C - Relations entre les granites et l'encaissant.....	23
	1° - Caractères généraux.....	23
	2° - L'encaissant nord.....	25
	D - Structure interne.....	27
	E - Enclaves et cortège filonien.....	28
	F - <u>CONCLUSION</u> : HISTOIRE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE MORTAGNE.....	28
II -	<u>ETUDE PETROGRAPHIQUE DESCRIPTIVE</u>	30
	A - Travaux antérieurs.....	30
	B - Principaux types et zonalité.....	31
	1° - Répartition des granites.....	31
	2° - Rappel des caractères microscopiques.....	33
	C - Zonalité minéralogique du massif.....	35
	1° - Albitisation des feldspaths.....	37
	2° - Chloritisation des biotites.....	38
	3° - Muscovitisation des biotites.....	40
	4° - Relations entre la chloritisation et la muscovitisation.....	41
	D - <u>CONCLUSION</u> : EVOLUTION MINERALOGIQUE MAJEURE ET ULTIME DU MASSIF DE MORTAGNE.....	43
III -	<u>EVOLUTION CHIMIQUE DES GRANITES A L'ECHELLE DU MASSIF</u>	44
	A - Introduction.....	44
	B - Eléments majeurs des roches.....	44
	1° - Granites migmatitiques.....	44
	2° - Granites porphyroïdes orientés.....	44
	3° - Granites à muscovite dominante.....	45
	C - Relation entre l'évolution chimique et les phénomènes minéralogiques.....	45
	1° - Diagramme (Si, K, Ca, Na).....	45
	2° - Diagramme (Si, K, Na, Ca, Fe, Mg, Ti).....	47
	D - <u>CONCLUSION</u> : PHASES CHIMIQUES DE L'EVOLUTION DU MASSIF DE MORTAGNE... ..	48
IV -	<u>POSITION DE GISEMENTS ET INDICES URANIFERES DANS LE CADRE DE LA ZONALITE</u>	49
	A - Par rapport aux phénomènes minéralogiques.....	49
	B - Par rapport aux phases chimiques définies à l'échelle du massif.....	50
	C - Evolution des granites et syénites de l'Ecarpière.....	56
	1° - Paragenèses minéralogiques.....	56
	2° - Evolution chimique des syénites et des granites.....	58
	3° - Discussion : origine des syénites de l'Ecarpière.....	58

D - <u>CONCLUSION : POSITION DES GISEMENTS DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE...</u>	60
V - <u>COMPARAISON ENTRE LES EVOLUTIONS DES GRANITES DE MORTAGNE, DE L'ENCAISSANT NORD, ET DE BRESSUIRE</u>	62
A - Massif de Bressuire.....	62
1° - Rappel de la position géologique.....	62
2° - Caractères minéralogiques et chimiques des granites.....	62
3° - Evolution chimique du massif de Bressuire. Comparaison avec le massif de Mortagne.....	64
B - Granites à biotite de l'encaissant nord de Mortagne.....	66
1° - Caractères minéralogiques.....	66
2° - Composition chimique.....	68
3° - Tendances chimiques opposées à celles de Mortagne.....	68
C - <u>CONCLUSION : DISCORDANCE CHIMIQUE ENTRE LES GRANITES A BIOTITE ET LES GRANITES A DEUX MICAS</u>	69
VI - <u>GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS DANS LES MINERAUX PHYLLITEUX</u>	69
A - Buts théorique et pratique.....	69
B - Remarques préliminaires aux études chimiques des concentrés en grain.	70
C - Rappel des propriétés optiques des phyllites.....	71
1° - Biotites.....	71
2° - Muscovites.....	71
3° - Indices de réfraction.....	71
D - Principaux caractères chimiques des phyllites de Mortagne.....	74
1° - Compositions chimiques moyennes des phyllites.....	74
2° - Conséquences chimiques de la chloritisation et de la muscovitisation des biotites.....	74
E - Formules structurales des biotites et muscovites.....	75
1° - Mode de calcul.....	75
2° - Caractères généraux des biotites et des muscovites du massif de Mortagne.....	76
3° - Principales substitutions d'éléments majeurs dans les biotites..	76
4° - Biotites de la bande granitique Nantes-Parthenay.....	79
5° - Comparaison avec des biotites d'autres régions granitiques.....	79
F - Composition chimique des biotites chloritisées.....	81
1° - Modifications liées à la chloritisation.....	81
2° - Formules structurales des biotites chloritisées.....	84
3° - Relations entre la chloritisation et la zonalité du massif de Mortagne.....;;.....	84
G - Incidences à l'évolution des granites sur la composition des biotites seules ou associées aux muscovites.....	88
1° - Au cours de l'évolution granitique majeure.....	88
2° - Relations entre la chloritisation des biotites et la tendance chimique des roches totales.....	90

H - <u>CONCLUSION</u> : CONSEQUENCES DE L'EVOLUTION DU MASSIF SUR LA COMPOSITION DES BIOTITES.....	90
<u>TROISIEME CHAPITRE</u> : GEOCHIMIE DE L'URANIUM.....	92
I - <u>L'URANIUM DANS LES ROCHES</u>	92
A - Distribution des teneurs en uranium en sondages dans la bande granitique de Nantes-Parthenay.....	93
1° - Massif de Bressuire.....	93
2° - Massif de Mortagne.....	94
B - Distribution de l'uranium dans les roches de Mortagne.....	95
1° - Variations avec la profondeur.....	95
2° - Estimation de la distribution des teneurs en uranium en surface.....	98
C - Variations des teneurs en uranium et thorium dans le cadre de la zonalité du massif de Mortagne.....	99
1° - Uranium.....	99
2° - Thorium et rapport Th/U.....	102
II - <u>NATURE ET REPARTITION DES MINERAUX ACCESSOIRES</u>	105
A - Mode de localisation de la radioactivité alpha.....	105
B - Minéraux opaques. Cristaux d'uraninite.....	106
1° - Caractéristiques générales.....	106
2° - Répartition de l'uraninite dans les granites.....	106
3° - Microparagenèse et gangue.....	108
C - Minéraux transparents radioactifs.....	109
1° - Répartition.....	109
2° - Radioactivité alpha.....	111
D - <u>CONCLUSION</u> : INFLUENCE DES PROCESSUS AUTO-METAMORPHIQUES SUR LES MINERAUX ACCESSOIRES.....	113
III - <u>L'URANIUM DANS LES MINERAUX PHYLLITEUX</u>	114
A - Localisation générale de l'uranium dans les biotites.....	114
B - Teneurs en uranium des phyllites.....	115
1° - Biotites non chloritisées.....	115
2° - Biotites chloritisées.....	116
3° - Muscovites.....	117
C - Relations entre la composition des biotites et leur teneur en uranium.....	117
1° - Biotites seules.....	117
2° - Biotites associées aux muscovites.....	118
D - Mobilisation de l'uranium au cours de la chloritisation et la muscovitisation des biotites.....	118
E - Parts respectives des altérations endogènes et supergènes.....	120
1° - Variations de la chloritisation avec la profondeur.....	120
2° - L'uranium des biotites au fond et en surface.....	121

3° - Relation entre la teneur en uranium des biotites et le degré d'oxydation du fer.....	124
F - <u>CONCLUSION</u> : LES BIOTITES PRECONCENTRENT L'URANIUM, LA CHLORITISATION LE MOBILISE, LA MUSCOVITISATION LE LIBERE.....	124
IV - <u>INTERPRETATION DES TENEURS EN URANIUM</u>	125
A - Stock géochimique et nature pétrographique des roches.....	125
B - Variations des teneurs moyennes dans l'optique de l'évolution géochimique des granites.....	127
C - Problème des mobilisations de l'uranium en traces dans les granites à deux micas.....	127
1° - Influence des remaniements supergènes sur la localisation et la distribution de l'uranium.....	127
2° - Mobilisations endogènes.....	129
D - <u>CONCLUSION</u> : CONVERGENCE DES ALTERATIONS ENDOGENES ET SUPERGENES.....	132
<u>QUATRIEME CHAPITRE</u> : <u>ELEMENTS EN TRACES ACCOMPAGNATEURS DE L'URANIUM</u> ...	133
I - <u>CLASSIFICATION</u>	133
II - <u>ELEMENTS EN TRACES DANS LES ROCHES TOTALES</u>	135
A - Variations dans le cadre de la zonalité pétrographique.....	135
1° - Lithium.....	135
2° - Rubidium.....	136
3° - Strontium - Baryum.....	136
4° - Béryllium.....	136
5° - Etain.....	136
B - Relations entre les éléments en traces et l'évolution chimique du massif.....	137
C - <u>CONCLUSION</u> : INCIDENCES DE LA DIFFERENCIATION SUR LE COMPORTEMENT DES ELEMENTS EN TRACES.....	137
III - <u>ELEMENTS EN TRACES DANS LES MINERAUX PHYLITIEUX</u>	138
A - Variations dans le cadre de la différenciation.....	138
B - Localisations de l'étain des alcalins rares et du fluor.....	140
C - Relations entre les éléments accompagnateurs de l'uranium.....	141
1° - Uranium - Etain.....	141
2° - Fluor - Oxhydrile.....	143
3° - Interprétation des teneurs des biotites en fluor.....	145
D - <u>CONCLUSION</u> : MODALITES D'ENRICHISSEMENT EN URANIUM ETAIN ET FLUOR....	146
<u>CINQUIEME CHAPITRE</u> : <u>APPLICATION A LA PROSPECTION : EVALUATION DU DEGRE D'EVOLUTION D'UN MASSIF GRANITIQUE ET DE SA POTENTIALITE EN GISIMENTS URANIFERES</u>	147
I - Historique des recherches minières pour l'uranium.....	147
A - Domaines prospectés pour l'uranium.....	147
B - Principaux gisements du massif de Mortagne.....	148
1° - Le gisement du Chardon.....	148

2° - Le gisement de l'Ecarpière.....	148
3° - Le gisement de la Chapelle Largeau.....	150
4° - Le gisement de la Commanderie - Le Temple (Deux-Sèvres).....	150
C - Problèmes génétiques posés par les gisements.....	151
II - <u>BUT RECHERCHE ET METHODES</u>	151
A - Domaine chimique des roches totales.....	151
B - Indice de muscovitisation des biotites.....	153
1° - Remarque préliminaire sur la méthode.....	153
2° - Résultats et discussion.....	156
C - Uranium, étain et tungstène en traces dans les phyllites de Morta- gne.....	157
D - <u>CONCLUSION</u> : CONSEQUENCES POUR LA PROSPECTION.....	158
/ <u>CONCLUSIONS GENERALES</u> /.....	160
GEOLOGIE, PITROGRAPHIE ET GEOCHIMIE.....	160
COMPOSITION DES MINERAUX PHYLLITEUX.....	164
GEOCHIMIE DE L'URANIUM.....	166
APPLICATION A LA PROSPECTION.....	170
BIBLIOGRAPHIE.....	172
PLANCHES.	
ANNEXES.	

INTRODUCTION

I - DONNEES GENERALES.

La France occupe en Europe occidentale une position relativement privilégiée vis-à-vis de la métallogénie et de la production de l'uranium, métal dont la contribution énergétique n'est pas encore importante ; mais on sait que cette position de pointe s'explique par la volonté de développer les Recherches Atomiques.

Les premiers gisements découverts sont situés en paysage granitique sous forme de filons plus ou moins développés. Leur découverte est due à une prospection radiométrique systématique de régions considérées, dès l'origine, comme les plus favorables. C'est ainsi qu'ont été découvertes, dans le Massif Central, la mine de la Crouzille - à laquelle est étroitement associé le nom de M. ROUBAULT, Membre de l'Institut - puis de 1950 à 1955 : celles des Bois Noirs au Forez, de Bauzot dans le district Grury-Luzy (Morvan), de la Chapelle-Largeau dans le district uranifère de Mortagne-sur-Sèvre (Vendée), celui qui nous intéresse ici.

A l'heure actuelle, le nombre de gisements et indices découverts diminue, limitant d'autant, pour l'avenir, l'estimation des réserves nationales. Il importait dès lors pour le Commissariat à l'Energie Atomique (C.E.A.) d'envisager de nouvelles investigations de prospection et de recherche autres que radiométriques, afin de tenter de mettre en évidence d'éventuels gisements "borgnes".

Il devenait donc impératif d'approfondir les connaissances géochimiques sur l'uranium et sur les massifs granitiques fertiles en gîtes productifs. Aussi, à l'initiative de M. ROUBAULT, Membre de l'Institut, ont été entreprises, depuis cinq ans, d'importantes études en collaboration étroite avec le C.E.A. ; celles-ci ont eu pour objectif de préciser le comportement de l'uranium dans les granites et d'avancer des hypothèses quant aux facteurs de concentration.

C'est dans cette voie que s'inscrit le présent travail sur la Vendée. A son origine, se trouve d'une part l'objectif dont il vient d'être question, d'autre part un important échantillonnage, réalisé par le C.E.A., et qui devait servir de base à des études géochimiques, complétant les études antérieures de M. ROUBAULT, R. COPPENS (1960,) P. BAILLET (1964.) Entreprises dès 1966, celles-ci ont été appliquées au massif de Mortagne-sur-Sèvre dont l'environnement géologique, qui prolonge vers le S-E le Massif armoricain, est connu par les travaux des géologues de Poitiers et de Nantes, et par ceux de la Division Minière de Vendée du C.E.A.

Elles viennent s'insérer dans l'ensemble des travaux de recherches effectués au Centre de Recherches Radiogéologiques en collaboration avec le C.E.A. sur ses Divisions Minières.

Les publications et thèses soutenues d'une part sur les granites à deux micas du Limousin et de Vendée, d'autre part sur les granites à biotite du Forez et du Morvan ont permis de préciser, selon la répartition résumée ci-dessous :

- la position de l'uranium par rapport aux variations zonales de ces granites ;
- les remaniements supergènes des traces d'uranium dans les granites.

Limousin J. BARBIER (1967 - 1968 - 1971)

J. BARBIER, H.G. CARRAT et G. RANCHIN (1967)

J. BARBIER et G. RANCHIN (1969a,b)

M. ARNOLD, K. KURTBAS et G. RANCHIN (1968)

G. RANCHIN (1970)

Forez : K. KURTBAS et LE VAN Tiet (travaux en cours)

Morvan : H.G. CARRAT (1966-1969)

Vendée : J.P. RENARD (1969- 1970)

G. JURAIN et J.P. RENARD (1970, a - b - c -)

II - OBJECTIFS.

La présente étude géochimique est fondée sur la connaissance préalable des structures majeures et des variations pétrographiques au sein des massifs granitiques. Ainsi nous avons défini les objectifs suivants qui seront traités successivement :

- Etude des principaux types de granites de la bande Nantes-Parthenay et plus particulièrement du massif de Mortagne, leur articulation structurale.
- Evolution chimique et minéralogique des granites du massif de Mortagne.
- Géochimie de l'uranium définie d'après les teneurs des roches totales et des minéraux phylliteux séparés, rôle des minéraux accessoires radioactifs, influence de l'altération météorique, remaniements de l'uranium primaire dans les minéraux phylliteux au cours de l'évolution granitique.

III - DEMARCHE METHODOLOGIQUE.

Les fils directeurs des recherches qui ont prévalu, depuis 1965, reposent sur ceux préconisés par H. DE LA ROCHE (1964) visant à l'analyse géochimique et aux modalités d'évolution des ensembles granitiques ; de préférence à une simple recherche de types pétrographiques distincts, nous nous sommes attachés à considérer l'évolution chimique et minéralogique de ces derniers au sein de l'édifice granitique ; ce but a été poursuivi tant à partir des analyses d'éléments majeurs que des éléments en traces, dans les roches et les minéraux phylliteux.

Les tendances évolutives chimiques et minéralogiques ont été dégagées à l'aide de diagrammes (Si, K, Na, Ca, Fe, Mg, Ti); celles-ci ont amené à considérer le comportement de l'uranium et de quelques éléments en traces particulièrement intéressants.

Les études sur les minéraux phylliteux séparés, recommandées par G. JURAIN ont été développées avec l'espoir de saisir les mécanismes géochimiques profonds de remaniements de l'uranium primaire en liaison avec la mobilisation d'éléments accompagnateurs tels que le fluor et l'étain. La démonstration du rôle très important de la chloritisation et de la muscovitisation dans la préconcentration géochimique de l'uranium conduit à des règles de prospection étayées par une contre-épreuve appliquée au massif de Bressuire.

Ces différents points ont été atteints à partir des opérations d'échantillonnage et de traitement qui seront considérées plus loin et d'informations acquises antérieurement par les travaux effectués au C.R.R. en collaboration avec le C.E.A. (M. ROUBAULT, R. COPPENS 1960, P.BAILLET 1964).

IV - ECHANTILLONNAGES

Le massif vendéen a fait l'objet d'une campagne d'échantillonnage par les soins de la Division minière de Vendée, 410 échantillons ont été prélevés en carrière ou sur affleurements naturels ; 200 proviennent du massif de Mortagne de superficie voisine de 650 km² et sur lequel on a récolté en moyenne un échantillon pour environ 3 km².

La maille de prélèvement n'est pas régulière en raison du manque d'affleurements naturels du à la faiblesse des reliefs et à l'importance des recouvrements (arène granitique, terrains pliocènes, alluvions fluviales récentes, végétation).

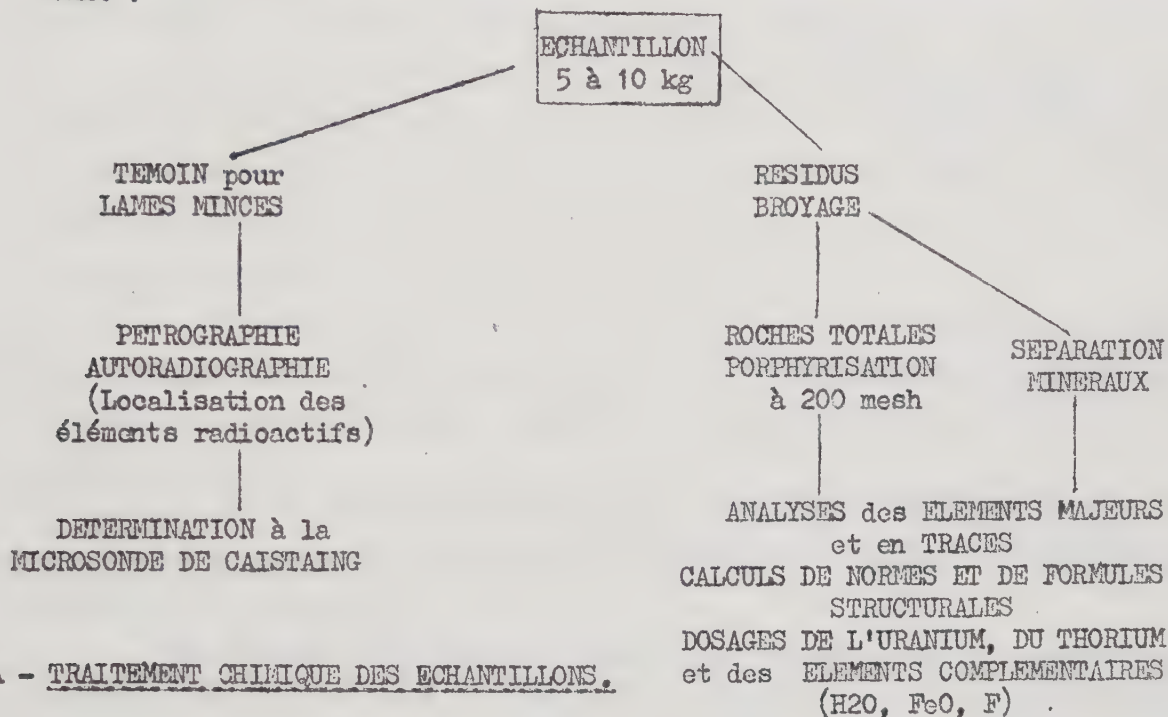
De plus, un profil de 70 échantillons prélevés à la maille moyenne de 500 m a été exécuté transversalement à la partie renflée du massif de Mortagne ; un profil équivalent a été réalisé dans le massif de Bressuire. Chaque échantillon prélevé en zone saine pèse de 5 à 10 kg ; il a fait l'objet d'une fiche de terrain qui comporte la description géologique du lieu de prélèvement et mentionne la radioactivité ambiante, mesurée en mR/h.

Pour connaître l'influence de l'altération météorique sur la dispersion des éléments et de leurs teneurs, il a été fait appel notamment à un sondage en carottage continu implanté en granite sain à proximité du gisement de la Commanderie. Ce sondage a été scié longitudinalement tous les 5 m afin d'obtenir une série d'échantillons homogènes et d'un poids moyen voisin de 3 kg. D'autre part, des prélèvements systématiques ont été effectués en galerie de mine à une maille de 10 m, ou localement de 2 m, le long de profils d'ordre hectométrique, afin de déterminer les variations géochimiques dans l'encaissant immédiat des

filons minéralisés.

V - OPERATIONS TECHNIQUES DE LABORATOIRE

Les techniques classiques utilisées comprennent la confection de lames minces pour l'observation pétrographique et autoradiographique, le dosage des éléments majeurs et des éléments en traces dans les roches totales, les dosages de l'uranium et du thorium, la séparation des minéraux, les déterminations à la microsonde électronique de Castaing ; les dosages précités ont été réalisés sur les minéraux séparés. L'ensemble des techniques est résumé dans le schéma suivant :



L'analyse chimique d'un grand nombre d'échantillons est effectuée au quantomètre A.R.L. par spectrométrie d'émission au Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy - C.R.P.G. - (M. ROUBAULT, H. LA ROCHE (de) et G. GOVINDARAJU - 1964) . Un nombre élevé d'analyses est nécessaire pour discriminer les écarts analytiques et les variations significatives d'ordre géologique. Des dosages complémentaires sont effectués pour obtenir les teneurs en FeO , $(\text{H}_2\text{O})^+$, F. Les dosages en traces effectués sur les minéraux phylliteux séparés comprennent les alcalins rares, rubidium, lithium, césium (C.R.P.G. Nancy), l'étain et le tungstène (C.E.A. Fontenay-aux-Roses).

B - INTERPRETATION DES ELEMENTS MAJEURS

Bien que relativement peu utilisés hors de France, les diagrammes de H. de LA ROCHE (1966) permettent à partir des analyses chimiques de faire apparaître les tendances évolutives au cours de la différenciation.

Les variations chimiques dans les granites sont présentées dans les diagrammes (Si, K, Na, Ca) construits avec les paramètres : $K - (Na + Ca)$ en abscisse, $Si/3 - (Na + K + 2/3 Ca)$ ou $Fe + Mg + Ti$, en ordonnée. Le calcul de ces paramètres exprimés en milliatomes est fondé sur les données chimiques pondérales, de telle sorte que chaque point figuratif soit représentatif d'une masse de 100 g (roche ou minéral). L'ensemble des échantillons a été figuré dans ce système de coordonnées tridimensionnelles. Les tendances chimiques d'un ensemble granitique sont concrétisées par les directions générales du nuage de points figuratifs, sollicité par le rôle plus ou moins important d'un ou plusieurs minéraux de ces granites. Cette méthode graphique permet d'assigner une composition minéralogique quantitative à chacun des points construits.

En effet, H. de la ROCHE fait remarquer que le point figuratif d'un échantillon doit être considéré comme le barycentre des points figuratifs des minéraux composants de la roche, affectés de coefficients égaux à leurs proportions respectives. En l'absence d'analyses de toutes les phases minérales séparées, on se limitera aux indications suivantes :

- la valeur prise par $K - (Na + Ca)$ exprime, en première approximation, la proportion relative de feldspath potassique et de plagioclase, et indique donc les tendances granodioritique, monzonitique ou potassique de granites calco-alcalins.

- Les valeurs paramétriques $Si/3 - (Na + K + 2 Ca/3)$ et $Fe + Mg + Ti$ sont respectivement proportionnelles aux quantités de quartz et de biotite contenues dans l'échantillon.

On compare les résultats obtenus avec l'analyse modale effectuée au moyen d'un compteur de points. L'évaluation normative de la muscovite aurait nécessité l'analyse chimique des feldspaths. Nous avons jugé bon d'utiliser le compteur de points afin de bien faire la différence semi-quantitative entre séricite, muscovite associée aux biotites, et muscovite secondaire d'habitus fissural.

C - DOSAGE DE L'URANIUM EN TRACES

Les teneurs en uranium des roches et des minéraux, séparés puis pulvérisés, sont obtenues par la méthode fluorimétrique (BERTHOLET - 1958)
G. JURAIN (1962) décrit les processus de mise en solution de l'échantillon. Actuellement, les phases techniques consistent en :

- une attaque de nature fluoritrique et perchlorique ;
- une chromatographie ascendante sur papier ;
- un grillage du résidu et une fusion dans un flux à support fluoré ;
- une mesure classique au fluorimètre de type C.E.A.

On dose l'uranium total, puis sur un deuxième prélèvement, l'uranium fixé que l'on obtient après deux lessivages de la poudre par 10 cc d'acide chlorhydrique 1 N. Par convention, au C.R.R., on appelle l'uranium mobile la différence obtenue entre l'uranium total et l'uranium fixé : il correspond à la fraction de l'uranium qui est peu liée aux minéraux ou localisée dans les fissures de la roche.

La précision relative avoisine 20 % pour des teneurs de l'ordre de 20 µg/g. Le coefficient de variation, dû à l'erreur analytique systématique est égal à 0,07 d'après les étalons G.A. et G.U utilisés au C.R.R.

D - DOSAGE DU THORIUM.

Les analyses en thorium sont obtenues par spectrométrie gamma suivant la méthode mise au point au C.R.R. par P. RICHARD (1969) . La précision des mesures atteint 2 % pour les teneurs supérieures à 5 µg/g, et 5 % pour les teneurs inférieures à 5 µg/g.

E - METHODE D'AUTORADIOGRAPHIE.

Cette méthode sert à localiser, dans une lame mince non couverte, les produits radioactifs émetteurs de rayons alpha et de calculer la teneur approchée en équivalent uranium ou thorium des éléments radioactifs des minéraux d'après la méthode mise au point par R. COPPENS (1949) .

F - DETERMINATIONS A LA MICROSONDE ELECTRONIQUE DE CASTAING.

La localisation précise en lame mince de l'uranium, du thorium et le dosage de ces éléments dans les minéraux radioactifs ont été réalisés par la méthode de la microsonde électronique CAMECA mise en oeuvre par J. GONI (1966) au laboratoire du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.) à Orléans-la-Source.

La méthode comporte les phases techniques suivantes :

- l'image électronique du nombre atomique moyen dans la plage considérée,
- l'analyse qualitative ponctuelle des éléments lourds à partir d'une teneur de 600 µg/g,
- le dosage quantitatif ponctuel,
- l'image semi-quantitative de la répartition d'un élément obtenue par un balayage électronique. Les perfectionnements permettent d'étudier les éléments de nombre atomique supérieur à 4.

Par cette méthode, il a été possible d'étudier l'uranium concentré dans l'uraninite, mais non pas la radioactivité diffuse que seule la méthode autoradiographique a permis de localiser.

G - SEPARATION DES MINERAUX.

Les minéraux phylliteux ont été obtenus par des procédés classiques de séparation : passage au séparateur paramagnétique FORRER, puis lévigation dans un courant d'eau pour concentrer et purifier la muscovite. Les fractions granulométriques conservées sont de taille supérieure à 65 mesh. Ce traitement ne fait pas appel aux liqueurs denses. Il est utile de préciser que les minéraux microscopiques inclus dans les micas ne sont pas séparés. En dernier lieu, avant les dosages, on procède à une porphyrisation à 200 mesh.

H - CALCULS AUTOMATIQUES.

Les calculs des paramètres statistiques et géochimiques ont été exécutés sur l'ordinateur I.B.M. 1130 de l'Ecole des Mines de Nancy, au moyen de programmes établis par P. ISNARD du C.R.P.G. de Nancy.

VI - PLAN DU MEMOIRE. SON ORIENTATION.

Le perfectionnement des moyens analytiques mis à la disposition du géologue conduit à une meilleure connaissance de la distribution des éléments majeurs et en traces dans les roches et les minéraux séparés.

Ces études ont été réalisées à partir d'échantillonnages effectués par le Service des Recherches de la Division Minière de Vendée, successivement dirigé par M. MOREAU puis par M. A. GERSTNER. Les prélèvements ont été effectués par M. J. VALLOIS sur la base des levés géologiques antérieurs des équipes du C.E.A.

Le but des recherches a été l'étude des variations des traces d'uranium en relation avec l'évolution granitique. Il fait suite à une première orientation ouverte par les travaux de M. ROUBAULT, et R. COPPENS (1958-1959-1960) concernant l'étude du comportement de l'uranium à l'état de traces lors des phénomènes d'altération supergène, thème développé par la suite dans la thèse de J. BARBIER (1971) .

Dès 1965, la seconde voie offerte par l'étude des relations de l'uranium en traces avec l'évolution granitique a fait l'objet d'un mémoire réunissant plusieurs articles sur la géologie du Nord Limousin (J. BARBIER, H.G. CAR-RAT, R. COPPENS, A. DOTTIN, L. KOSZTOLANYI, C. MARQUAIRE, M. MOREAU, G. RANCHIN, J. SENECAI - 1969 , et a été synthétisée par G. RANCHIN (1970) .

C'est à G. JURAIN, Professeur à l'Université de Nancy, que reviennent l'initiative et les conseils qui ont guidé l'orientation des travaux sur la

géochimie des granites vendéens dans la perspective suivante :

- A partir des analyses d'éléments majeurs des roches du massif de Mortagne, établir un modèle d'évolution chimique.
- Tenter de mettre en lumière l'incidence de cette évolution chimique sur la composition des minéraux phylliteux.
- Rechercher les liens éventuels entre la distribution des teneurs en uranium et d'autres éléments chimiques voisins dans le tableau périodique.

Ces considérations ont conduit à scinder l'étude en cinq chapitres :

- Le premier situe le cadre géologique des études et les travaux antérieurs.
- Le second expose l'évolution chimique du massif, la position des gisements, la comparaison entre le massif de Mortagne fertile en gisements et le massif de Bressuire, stérile. Cette première démarche permet d'introduire un second domaine géochimique constitué par le groupe des minéraux phylliteux.
- la géochimie de l'uranium est abordée aux échelles d'observations des roches et des minéraux phylliteux dans le troisième chapitre.
- Tandis que le quatrième appartient au domaine des éléments en traces accompagnateurs de l'uranium dans les minéraux phylliteux.
- Les applications concrètes à la prospection qui en découlent constituent le dernier, en rappelant les trois domaines géochimiques :
 - l'évolution des roches, la composition des phyllites et la paragenèse de l'uranium.

PREMIER CHAPITRE

LA VENDEE ET SON HISTOIRE GEOLOGIQUE D'APRES LES TRAVAUX ANTERIEURS

I - SITUATION GEOGRAPHIQUE. APERCU GEOMORPHOLOGIQUE.

La Vendée, territoire historique de l'ouest de la France, est limitée au Nord par la vallée de la Loire, à l'Ouest par l'Océan, au Sud par le Bassin Aquitain, et à l'Est par le Bassin Parisien (Fig. 1). Elle comprend les régions naturelles suivantes :

- Au Nord-Est, la région des Mauges qui dessine un vaste croissant ouvert au Sud de la Loire depuis Nantes jusqu'à Vihiers.
- Au Centre, le Haut Bocage, formé d'une ligne de collines (Saint-Michel Mont Mercure au Nord de Pouzauges, altitude 285 m ; Rocher de Pyrôme, près de Moulins, altitude 196 m, le Mont des Alouettes et le Puy Crapaud) qui s'étendent de Nantes à Partenay et englobent le pays de Mortagne, la Gâtine, le Thouarsais. Cette région est prospectée pour l'uranium sur les territoires

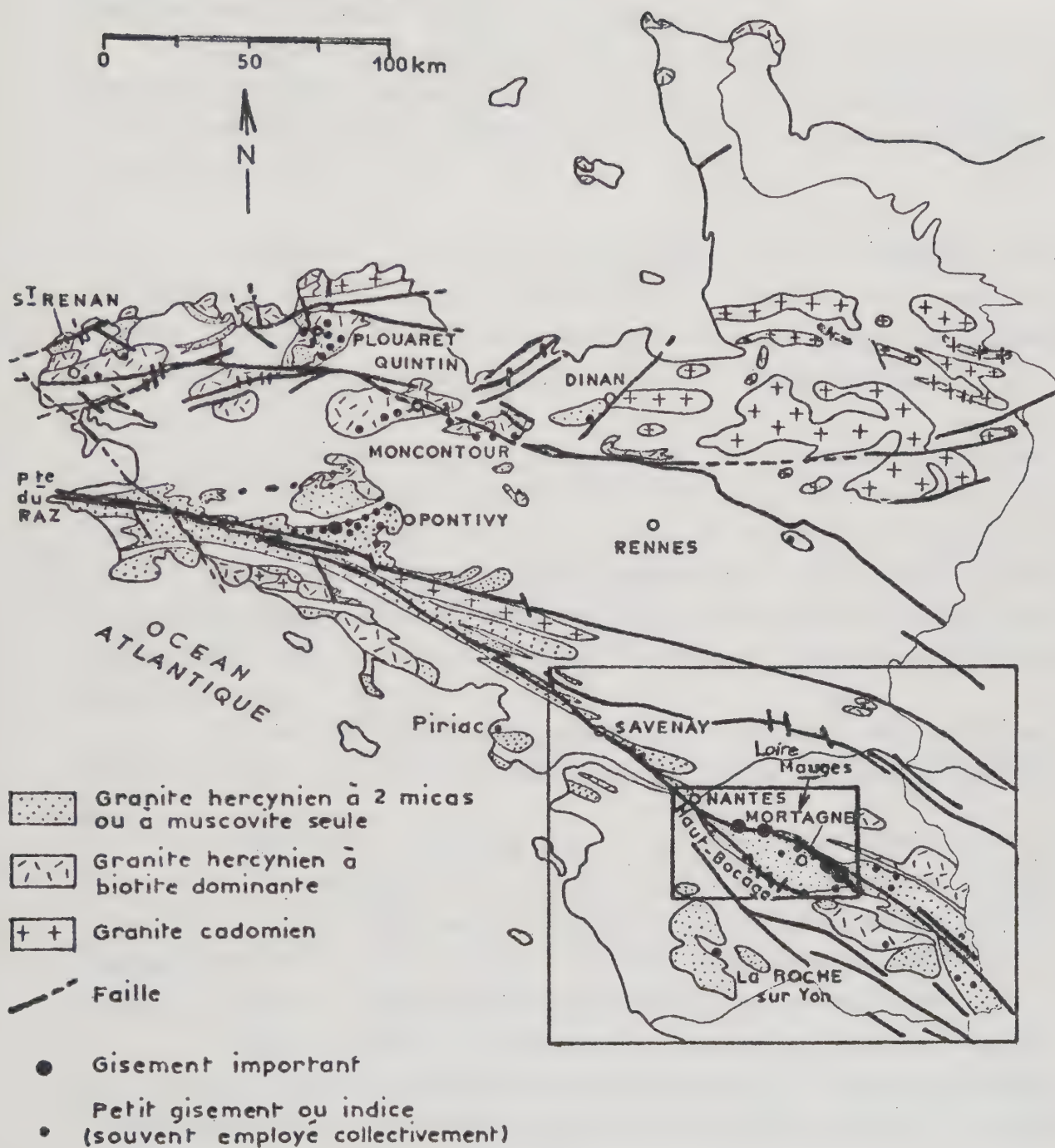


Fig. 1 : Place de la Vendée et du batholite de Mortagne dans le massif armoricain.
Position des principaux gisements uranifères.

08 0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

de quatre départements : Vendée, Deux-Sèvres, Maine-et-Loire et Loire-Atlantique. En réalité, toute la Vendée historique a été prospectée à une maille variable, fonction du degré d'intérêt des différents ensembles géologiques.

- Au Sud-Ouest, le Marais vendéen, tourné vers l'Océan et comprenant le pays de Retz, le lac de Grandlieu et la plaine qui s'étend de la Roche-sur-Yon jusqu'aux marais breton et poitevin et au littoral.

Les principales unités géomorphologiques, décrites par M. TERS (1961) annoncent les lignes structurales majeures ; depuis le Mont des Alouettes situé à deux kilomètres au Nord des Herbiers (altitude 250 m), on voit se dessiner trois grandes unités :

- Au Nord-Est, le Haut Bocage granitique, ligne de collines qui domine la Vendée littorale, a subi un soulèvement de l'ordre de 100 m après le Pliocène. L'érosion différentielle a joué entre le massif granitique de Pouzauges et la dépression micaschisteuse qui le sépare du massif de Mortagne.

- Au Sud-Ouest, le fossé de Chantonay, véritable glacis, dont les arêtes en grès armoricains sont dirigées du Nord-Ouest vers le Sud-Est. Au Tertiaire, il a joué en graben s'appuyant, au Sud, sur le horst des Essarts-Morvent.

Plus au Sud-Ouest, le Marais vendéen, unité la plus stable, constitue la région littorale à peine inclinée jusqu'à l'Océan. Elle forme une plateforme stable arasée entre les temps hercyniens et liasiques, puis envahie par les mers jusqu'à l'Eocène.

Le massif de Mortagne, qui appartient à la première unité, s'élève doucement vers le S.E. depuis la région nantaise jusque dans la région des Epesses.

La dépression morphologique de la faille du sillon de Bretagne (C. BARROIS, 1930a,b) se prolonge par la bordure Nord du massif de Mortagne et emprunte la vallée de la Moine, affluent de la Sèvre Nantaise. Cette dernière rivière a surimposé son cours suivant la grande diagonale N.O. - S.E. du massif. Elle entaille les granites souvent recouverts d'arènes et de dépôts pliocènes.

Au N.E. du massif la dépression de la vallée de l'Ouin est occupée par des roches basiques. Les vallées s'installent sur les directions structurales majeures N.O. - S.E. et sur le morcellement tectonique tardif d'axe moyen subméridien.

II - UNITES GEOLOGIQUES

A - HISTORIQUE

La région vendéenne a fait l'objet des mémoires initiaux de J.A.

CAVOLEAU (1803) et les géologues suivants , CACARIE (1842) , A. RIVIERE (1851) .
Après les travaux de DUFRENOY, FOURNIER et WALLERANT , C. BARROIS (1930 a)
G. MATHIEU en 1937, présente une cartographie de la Vendée et une synthèse des
faits tectoniques qui permettent de préciser avec les publications ultérieures de
1946 à 1958 et la deuxième édition de la feuille géologique de CHOLET (N° 118 -
1959) , la structure géologique de Vendée.

Depuis 1947, les travaux des géologues du commissariat à l'Energie Ato-
mique, synthétisés par A. GERSTNER et al (1962) , marquent un intérêt développé
pour les massifs granitiques dans le cadre des importantes découvertes de gise-
ments uranifères. La cartographie du C.E.A., structuralement très élaborée, cou-
vre les massifs de granites de la bande Nantes-Parthenay. L'encaissant Nord du
massif de Mortagne a fait l'objet d'une synthèse sous la direction de FORESTIER
et LASNIER (R. LEBLANC 1971) .

Par ailleurs, BRILLANCEAU (1968 a,b,) et M. DHOSTE (1961 - 1962 - 1963)
poursuivent des travaux pétrographiques et cartographiques sur la zone bocagère.
sous la direction de G. MATHIEU.

B - UNITES MAJEURES

Le massif vendéen représente le prolongement, vers le Sud et le Sud-Est
de la Loire, de la Bretagne méridionale, région qui a fait l'objet de nombreux
travaux (J. COGNE , (1957-1963) , il comprend :

- un socle constitué de roches briovériennes.
- une série paléozoïque allant du Cambrien au Carbonifère.

Pour la série stratigraphique briovérienne, J. COGNE (1963) propose
la succession suivante observée en Vendée :

- Briovérien inférieur : amphibolites et micaschistes quartzo-feldspa-
tiques parfois migmatisés,
- Briovérien moyen : micaschistes à lits quartzitiques et phyllonites,
- Briovérien supérieur : schistes varvés et porphyroïdes.

En Vendée, le Briovérien supérieur paraît débiter par les poudingues
et brèches de Saint-Fulgent ; les formations terminales seraient représentées
par les schistes, grauwackes, quartzites et cipolins de Beaupréau.

G. MATHIEU (1937) rapporte au Cambrien la partie supérieure du Brio-
vérien en raison de l'absence de discordance entre Briovérien et Cambrien en
Vendée.

Les nombreux travaux, en particulier de G. MATHIEU (1937-1958) et

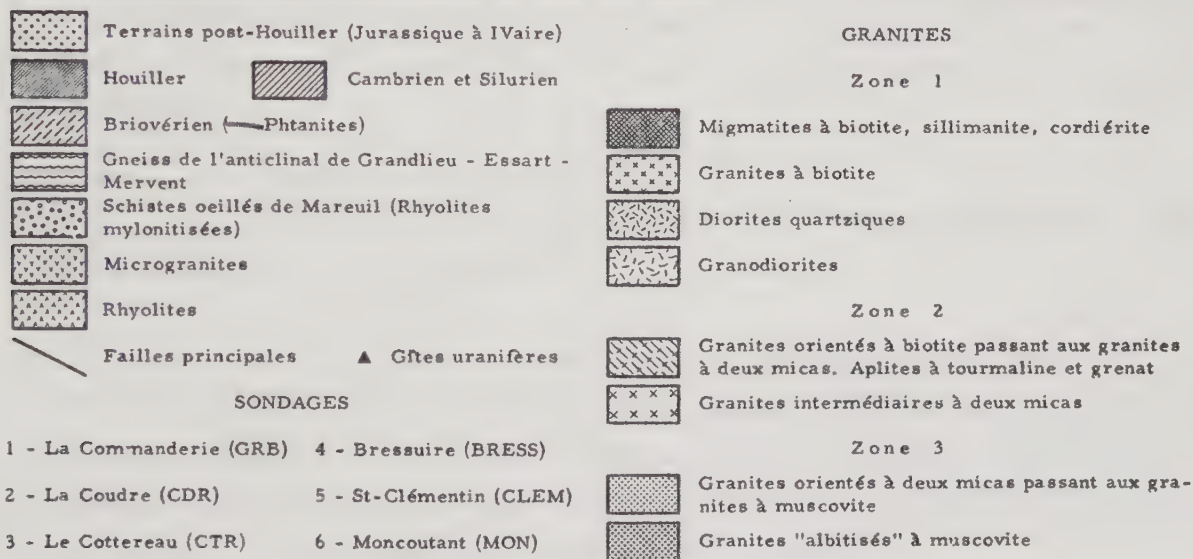
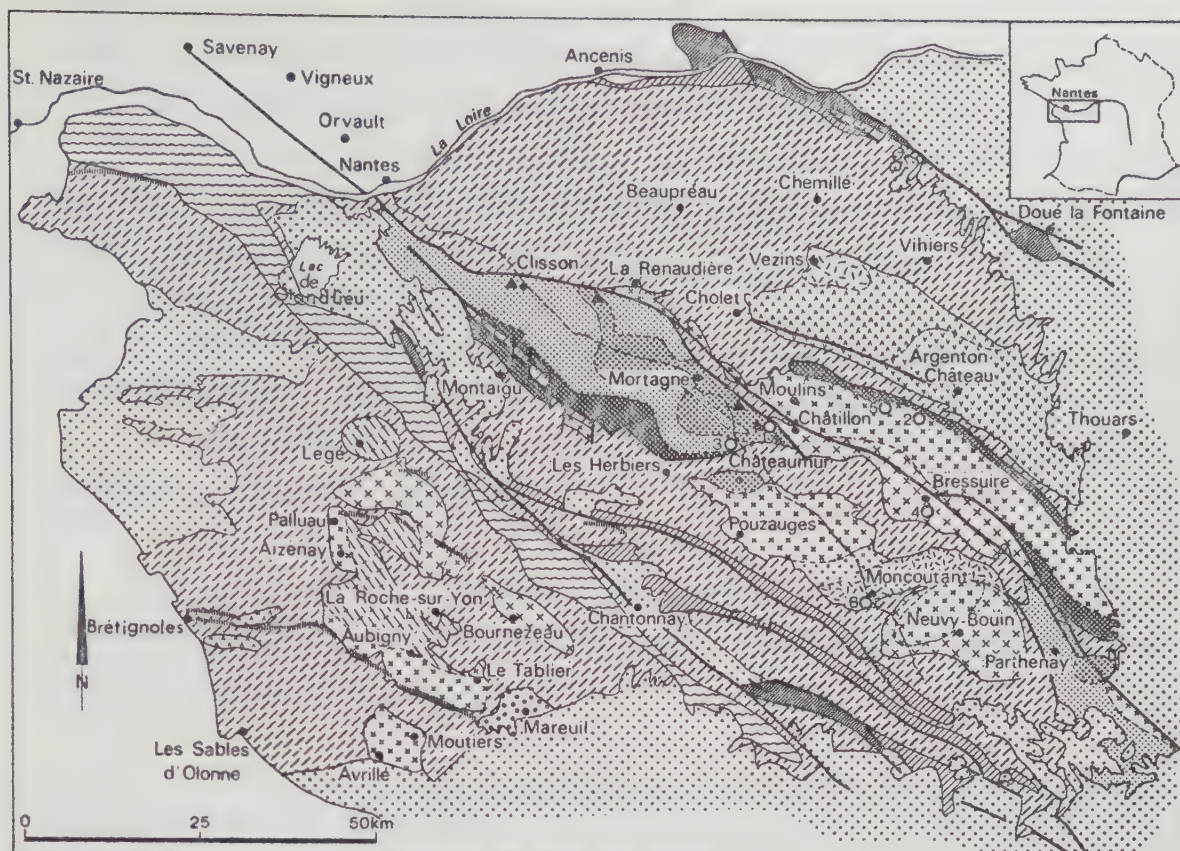


Fig.2 : Zones de granitisation dans le massif vendéen d'après la carte géologique du C.E.A. (1953) et l'échantillonnage de surface (J. VALLOIS, 1966).

M. TERS (1964-1970) consacrés à la Vendée, ont contribué à définir une stratigraphie précise des terrains paléozoïques, celle-ci est résumée dans le tableau 1, en l'incorporant dans le schéma de l'histoire géologique régionale.

Le trait structural dominant qui se dégage en Vendée des diverses études est la juxtaposition d'une série de bandes de roches métasédimentaires parallèles à la direction sud-armoricaine hercynienne et de la direction E - O des plis cado-miens ayant affecté le Briovérien.

Plusieurs massifs granitiques apparaissent au sein de ces terrains métamorphiques qui s'alignent suivant la direction armoricaine (Fig. 2).

Une coupe N.E. - S.O. allant de Chemillé aux Sables d'Olonne montre la succession des unités suivantes :

- Le Briovérien schisteux de la région de Chemillé qui dessine des larges plis isoclinaux de direction Est-Ouest à pendage S.O. (série de Chemillé de la carte de Cholet au 1/80 000 2 éd.

- Le synclinorium cambrosilurien du Choletais qui est formé de trois bandes pincées de rhyolites et de quartzites parallèles à la vallée de la Moine ; de direction O.N.O. - E.S.E., elles prennent en écharpe le Briovérien inférieur basique : panneaux d'amphibolites et massifs basiques cartographiés par P. LEBLANC (1971) .

- La bande granitique syntectonique de Nantes-Parthenay qui recoupe le Briovérien et le Cambro-Silurien.

- Le synclinorium cambrosilurien et houiller de Chantonay qui, enchâssé dans le Briovérien, participe à une tectonique de couverture en plis-failles aigus à pendages Sud. De plus, la coupe du Houiller de Vendée (synclinal de Saint-Julien-de-Vouvantes - Chantonay) montre trois discordances angulaires qui soulignent les phases sudète, asturienne et saaliennne.

- La voûte anticlinale des Essarts-Mervent de direction sud-armoricaine qui prend en écharpe le Briovérien, comprend des gneiss, des éclogites (faciès granulite du lac de Grandlieu) et des amphibolites. Les gneiss chevauchent les terrains stéphanien, au cours de la phase saaliennne cisailante.

- La série ordoviciennne - (BRILLANCEAU, MATHIEU 1965) et à faible pendage N.E.) du Bas Bocage, percée par les granites de la pénélaine de la Roche-sur-Yon. Dans la région côtière, elle est surmontée de Silurien daté (G. DEFLANDRE et M. TERS, - 1970) . Celui-ci participe à la tectonique Sud-armoricaine des plis-failles, reprise par des déformations submériidiennes.

PERIODES Egés	STRATIGRAPHIE	METAMORPHISME	PHASES OROGENIQUES	GRANITES	VOLCANISME	AGES *
PERMIEN						
CARBONIFERE Stéphanien	Houiller de la Marzelle et Nord Vouvant		OROGENE VARISQUE Phase saaliennne (cassante)			260 M.A.
Westphalien	Houiller de Chantenay		Phase asturienne (cisailante)	Massif de Montagne Massifs de Partbenay et Neuvy-Bouin		295 M.A.
Namurien	Houiller de St. Leger		Phase Erzgebirge	et leur action à l'orogénèse		320 M.A.
Dinantien			Phase Sudète			325 M.A.
DEVONIEN	Calcaire de Ville Dé- d'Ardin	↑ Méromorphose dans la zone à chlorite-muscovite	Phase bretonne	hercynienne sur les Massif de Bressuire (?)		350 M.A.
SILURIEN	Schistes et phanites de Brétignolles			Massif de Pourauges (?)		430 M.A.
ORDOVICIEN Caradocien	Schistes de la Nallie- raie - Grès armoricains					
Clendellien	Poudingues de la Châtaigneraie					
Arenigien						
CAMBRIEN						
Trémadocien	Grès et schistes pour- prés de Bourgneuf.				Eruptions d'andésites et de rhyolites tréma- dociennes de Cholet, la Châtaigneraie	
Postdamien	Poudingues de Sigournais		Phase cadomienne		Massif de Mareuil	
BRIOVARIEN Supérieur	Schistes et cipolin de Beaupréau - Assise des Sables - Série de Chamille Schistes grauvaches quartzites, Poudingues de St Fulgent	Porphyrodes de Vendée				
moyen	Quartzophyllades Schistes et phanites	Ones à cordiérite et sillimanite	Emergence de la Cordillère ligérienne			
Inférieur	Assise des Essarts Schistes de la Mothe- Achard	Amphibolites de Montaigu Schistes cristal- lins			Coulées rhyolitiques Vendée littorale	

Tableau 1 : HISTOIRE GEOLOGIQUE DE LA VENDEE D'APRES LES DONNEES DE G. MATHIEU (1937 à 1958), M. DHOSTE (1962), J. SOWET* (1967, 1968)
G. DEFLANDRE, M. TERS (1970).

- L'anticlinal gneissique des Sables d'Olonne, enfin parallèle à celui des Essarts-Marvent, qui recoupe la série du Briovérien supérieur opimétamorphique des Sables d'Olonne.

C - LES MASSIFS GRANITIQUES DE L'AXE NANTES-PARTHENAY.

L'axe Nantes-Parthenay auquel se limite nos recherches est jalonné par trois grands massifs granitiques (Fig. 2) ; ce sont du N.O. au S.E. les massifs de :

- Mortagne,
- Bressuire,
- Parthenay.

A ceux-ci se rattachent les massifs satellites de Pouzauges, Moncoutant et Neuvy-Bouin situés au S.O. du massif de Bressuire.

1° - Forme des massifs

S'étendant du S.E. de Nantes à la région de Parthenay où elle disparaît sous la couverture jurassique, la bande granitique s'effile aux deux extrémités. Les massifs de Mortagne, en forme de fuseau, et de Parthenay sont symétriques par rapport à celui de Bressuire qu'ils recoupent en piseau ; ce dernier prend une allure cintrée avec tendance à une direction subméridienne vers sa terminaison orientale ; il est flanqué au N.E. par le massif de microgranites d'Argenton-le-Château et au S.O. par les massifs granitiques de Pouzauges et de Moncoutant, et par le massif elliptique de Neuvy-Bouin.

2° - Relations avec l'encaissant et les grandes déformations régionales

Les massifs granitiques précités sont caractérisés par des contacts avec leur encaissant, tantôt intrusifs, tantôt tectoniques.

a) Massif de Mortagne

Intrusif au S.E. et au S, dans les micaschistes et gneiss des Herbiers, il présente, par contre, dans sa bordure occidentale et septentrionale, un contact faillé avec l'encaissant ; la tectonique est dominée par des cisaillements tangentiels. De plus, il a subi la tectonique cassante méridienne des mouvements tardihercyniens. (Fig. 3).

b) Massif de Bressuire

Situé en majeure partie au Nord du sillon de Bretagne (faille de

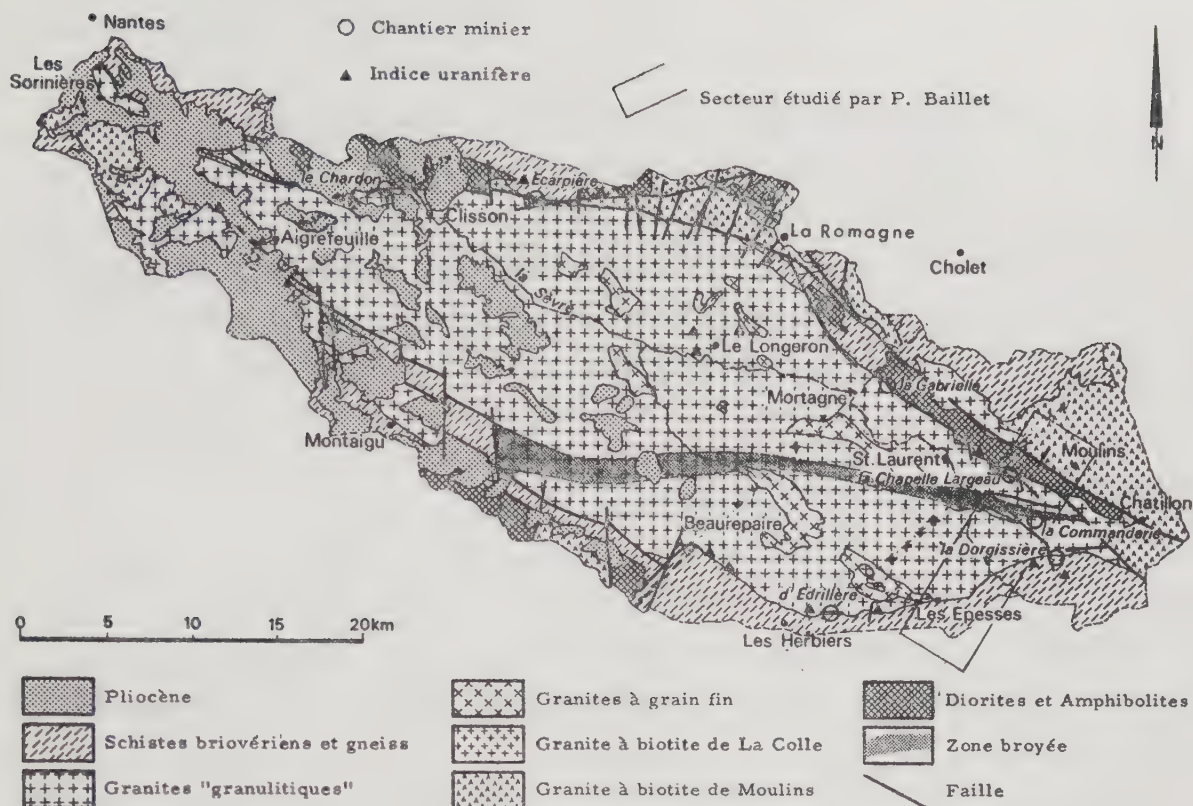


Fig. 3 : Esquisse géologique du Massif de Montagne-sur-Sèvre, d'après les levés géologiques du C.E.A. (1953).

Vasles plus au S.E., près de Parthenay), ce massif formé de granites à biotite et de granites deux micas présente un contact progressif avec l'encaissant métamorphique (gneiss et micaschistes) ; ces granites conservent également des panneaux d'anatexites. (Pl. I Fig.5)

M. DHOSTE (1968) a observé sur les bordures de ce massif, -d'une part au Nord de Moulins, d'autre part au Sud de Bressuire et Chiché - des migmatites à sillimanite - cordiérite tout à fait comparables au faciès grenu des gneiss d'Aubusson. Ces roches sont cartographiées sur les feuilles au 1/80 000 de Cholet (deuxième édition, 1959) et de Bressuire (deuxième édition, 1958) , sous le nom de "Briovérien granulitisé (Xv)" passant par endroits à des "gneiss granulitiques ($\zeta^2 \gamma^1$)" ; elles sont relayées à l'Ouest par les migmatites des Herbiers dans la direction de l'anticlinal migmatitiques de St Nazaire

Le massif est recoupé longitudinalement dans sa partie méridionale par la grande dislocation de Bressuire qui se prolonge vers le S.E. par la faille de Vasles en limitant au N.E. le massif de Parthenay. L'emprise de la tectonique sud-américaine sur les granites à biotite se manifeste par l'intrusion de zones de granites à deux micas, allongées N.O. - S.E.

c) Massif de Parthenay

Ce massif constitue un feuillet synclinématique redressé, peut être équivalent des granites en feuillet décrits en Bretagne méridionale par J. COGNE et dont les bordures Est et Ouest sont mylonitisées au contact du Briovérien micaschisteux. (Carte de Bressuire au 1/80 000, 2 éd.).

d) Massifs satellites

Les massifs satellites (Moncoutant, Pouzauges, Neuvy-Bouin) situés au Sud de l'axe médian Nantes - Bressuire - Parthenay sont à bords circonscrits et développent localement dans les schistes qui se chargent en muscovite, un léger métamorphisme de contact. Ils ont envahi, soit en position synclinale le Briovérien inférieur basique (Massif de diorites quartziques de Moncoutant) (G. MATHIEU 1958) soit en position anticlinale dans schistes et quartzites briovériens (Massif de Pouzauges - M. DHOSTE 1962) .

Enfin, au Nord, le petit massif de Vézins recoupe les rhyolites et orthophyres de Cholet qu'il métamorphise (D. SANTALLIER - 1964) .

Les rhyolites et microgranites de Cholet constituent un ensemble géochimique homogène et seraient cambriens.

3° - Variations internes des massifs.

A la suite des travaux de A. GERSTNER et al (1962) , la répartition des principaux types de granites se trouve fondée sur les distributions suivantes :

- granites à deux micas de type "Mortagne",
- granites à deux micas intermédiaires de Bressuire,
- granites à biotite de type "Moulins".

Types étiographiques	MORTAGNE	BRESSUIRE	PARTHENAY	NEUVY-BOUIN
GRANITES A DEUX MICAS monzonitiques à tendance alcaline	Granites A Tourmaline A texture équante		Granites A texture équante	Granites A tourmaline
GRANITES A DEUX MICAS INTERMEDIAIRES monzonitiques	Granites orientés à tendance porphyroïde	Granites de Bressuire	Granites orientés à tendance porphyroïde	Granites Porphyroïdes à biotite dominante
GRANITES A BIOTITE à tendance gra- nodioritique	enclaves	Granites de Moulins	enclaves	Granites porphyroïdes

Tableau 2 : Répartition des principaux types de granites et leurs variations internes dans la bande granitique de Nantes-Parthenay d'après les conceptions de A. GERSTNER et al (1962) et de M. DHOSTE (1962) .

Ces types fondamentaux constituent l'ossature des principaux massifs dont les principales variations internes sont schématisées dans le tableau 2.

Les travaux pétrographiques de collaboration entre le C.R.R. et les géologues du C.E.A. ont conduit à considérer des massifs granitiques autochtones hétérogènes (Bressuire) et des granites intrusifs hercyniens (Mortagne, Parthenay, Neuvy-Bouin) comme formés de trois principales zones de granitisation : une zone de migmatites et de massifs granodioritiques, une zone de granites orientés hétérogènes à biotite dominante, une zone de granites syncinématiques à deux micas passant aux granites à muscovite.

Ces structures majeures prolongent le massif armoricain vers le S.E. en direction du Limousin au delà du détroit poitevin.

4° - Relations avec la Bretagne et le Limousin.

Comme en Bretagne méridionale dont la structure est connue par les travaux de J. COGNE (1960) , les granites de la bande Nantes-Parthenay recoupent en biseau des gneiss et migmatites dans la région des Herbiers ; ils prolongent vers le S.E. les granites en feuillet de Nantes - Savenay qui appartiennent à l'arc granitique Pointe du Raz - Nantes mis en place à la phase sudète dans les zones affectées de cisaillements tangentiels. Cette architecture se poursuit en Vendée et dans le Limousin au delà du seuil du Poitou, et C. MARQUAIRE et M. MOREAU (1969) rappellent à la suite de DEMAY (1952) la correspondance des terrains de part et d'autre de ce seuil :

- Les séries briovériennes situées au Nord du massif de Mortagne se situent dans le prolongement des gneiss de Basse Marche qui recouvrent les micaschistes, le long de la dislocation de la Marche,

- Les granites syncinématiques (Parthenay - M. DHOSTE - 1962) se prolongent à l'Est vers des faciès homologues intercalés entre le granite de Guéret et la dislocation mylonitique de la Marche, au niveau de l'anticlinal de Magnac-Laval-Le Dorat.

- Au Sud, les séries briovériennes et primaires du Bas Bocage Vendéen ont pour termes équivalents les zones synclinoriales épimétamorphiques de Busières Poitevine, Bellac, Saint-Sulpice-Laurière.

5° - Âges des granites.

D'après G. MATHIEU (1958) , les principaux granites de Vendée se seraient mis en place entre le Dinantien et le Namurien, c'est-à-dire au cours de la phase sudète, car leurs micas auraient alimenté les sédiments namuriens. De plus, on rencontre des poudingues à éléments granitiques du type Mortagne dans le Stéphanien de Chantonay, indice de l'émersion de ces granites mis en place à la phase asturienne ; c'est à ce moment que prendrait place le chevauchement du granite de Mortagne sur les terrains encaissants.

Les récentes mesures géochronologiques de J. SONENT (1967-1968) apportent quelques précisions sur les âges des divers granites de l'axe Nantes-Parthenay : les analyses isotopiques (méthode Rb / Sr) sur roches totales des massifs de Mortagne et de Neuvy-Bouin conduisent toutes à un âge isochrone de 300 ± 10 M.A. environ qui correspond à la phase asturienne de l'orogénèse hercynienne.

Les massifs de Parthenay, Bressuire, Pouzauges, plus hétérogènes que les précédents, ont subi un rajeunissement lors de la mise en place du massif de Mortagne, amenant des âges moyens qui sont de 300 M.A. pour Parthenay, de

363 M.A. pour Bressuire et de 430 M.A. pour Pouzauges. Toutefois, dans l'état actuel des connaissances, il est impossible de donner avec certitude l'âge de la mise en place de ces massifs. Ils sont replacés dans le cadre des événements géologiques principaux qui ont marqué l'histoire de la Vendée (tableau 1).

Les travaux antérieurs sur les granites de Nantes à Parthenay montrent une véritable coordination de leur évolution avec la tectonique varisque. "Cet aspect est capital dans la recherche et la compréhension des phénomènes générateurs de gisements uranifères". (A. GERSTNER et al. 1962) .

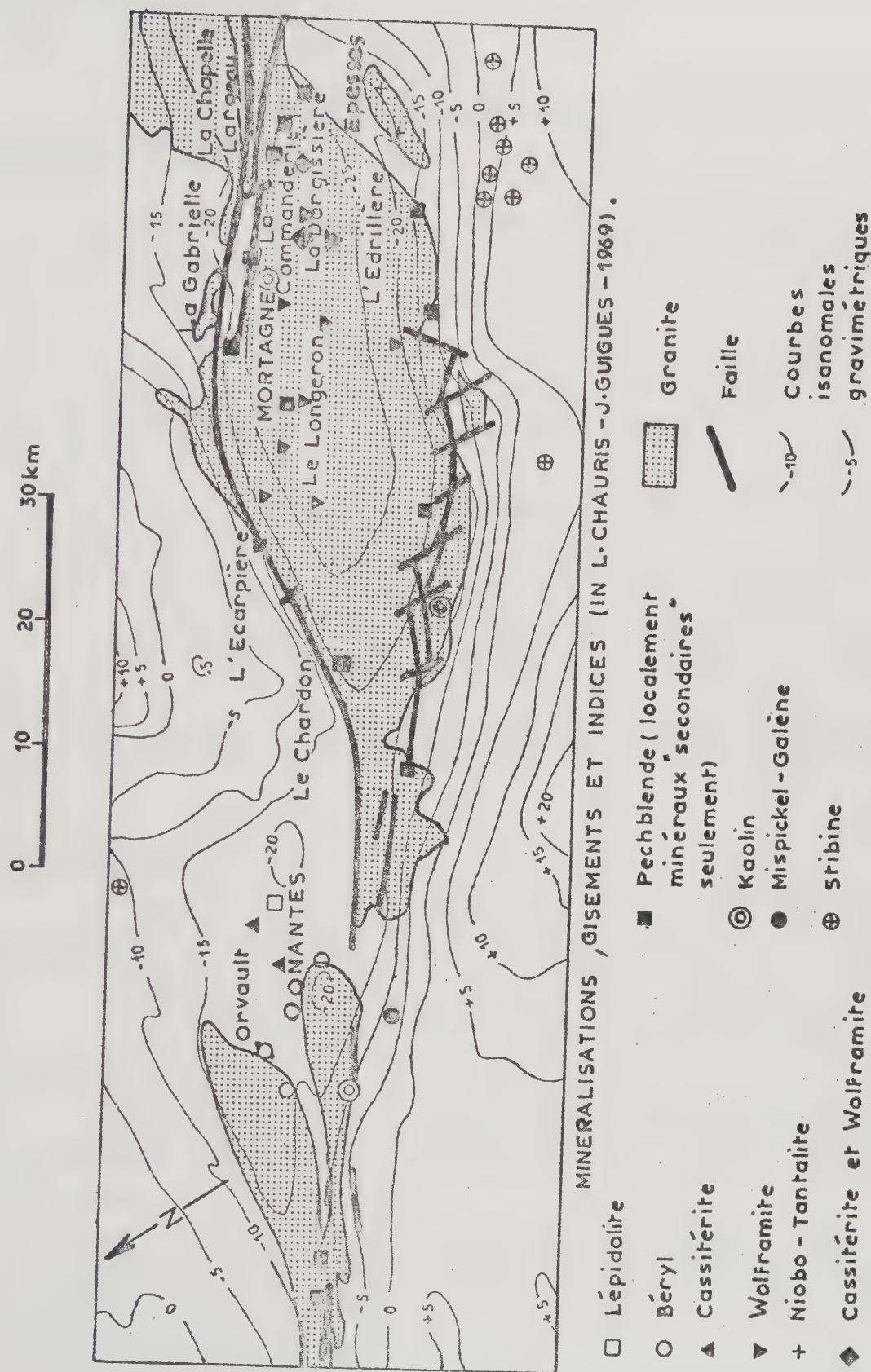
D - CONCLUSION

Le massif de Mortagne se situe dans le prolongement vers le S.E. de l'arc granitique hercynien, Pointe du Raz - Nantes.

Il constitue un massif qui appartient à la bande granitique syncinématique Nantes-Parthenay de direction sudaméricaine. Il recoupe la série briovérienne et présente des limites occidentales et septentrionales tectoniques.

Le massif de granites à deux micas de Mortagne est le plus intéressant des massifs vendéens, par la présence d'importantes minéralisations uranifères localisées sur les bordures tectonisées et mises en valeur à la suite des travaux de prospection du Commissariat à l'Energie Atomique.

Fig. 4 : Répartition des minéralisations non uranifères et des gisements uranifères et carte gravimétrique des massifs granitiques de Nantes, Orvault et de Mortagne.



/ SECOND CHAPITRE /

CARACTERES PETROGRAPHIQUES ET GEOCHIMIQUES DES GRANITES DU MASSIF DE MORTAGNE. TENDANCES EVOLUTIVES MAJEURES.

I - CONDITIONS DE GISEMENT DU MASSIF.

A - DIMENSIONS. FORME. LIMITES.

Le massif cristallin de Mortagne, qui s'étend sur les départements de Vendée, des Deux-Sèvres, de Maine et Loire, et de Loire Atlantique, couvre environ 650 km².

Il s'allonge entre Chateauthébaud et Chatillon-sur-Sèvre, sur 55 km suivant une direction N.O. - S.E. (Fig. 3 - page 16). Il épouse une forme fuselée presque losangique dont les côtés sont orientés E.O. et NO - SE ; les limites en sont :

- au Nord, la vallée de la Moine entre Chateauthébaud et Montfaucon, puis la ligne Montfaucon - La Romagne ;
- au Sud, la ligne qui va des Herbiers à Châtillon-sur-Sèvre ;
- au N.E., la ligne Châtillon - Mortagne-sur-Sèvre et la Romagne ;
- enfin au S.O., la vallée de la Maine entre Aigrefeuille et les Herbiers.

Les directions des vallées soulignent les principales directions structurales.

B - POSITION STRUCTURALE.

La forme fuselée du massif résulte de la juxtaposition de deux directions tectoniques majeures :

- l'une N.O. - S.E. ou sudarmoricaine ;
- l'autre E. - O. attribuée soit à l'orogénèse cadomienne soit à un ridement post-silurien.

Ces deux directions majeures sont représentées par les importantes failles bordières reconnues par les géologues du C.E.A. en surface et dans les travaux miniers.

La carte gravimétrique (Fig. 4) publiée par L. CHAURIS (1967) suggère, d'après l'allure des isanomaes, que les granites à deux micas de Nantes et de Mortagne constituent l'extrémité effilée N.O. du massif vendéen épanoui au S.E. en direction du Limousin.

En vendée, les structures granitiques de Mortagne orientées 120-140° E. coupent en biseau les structures E.-O. en développant un axe d'anomalies négatives situé entre deux zones d'anomalies positives : au sud, le Socle vendéo-

cornouaillais, au Nord le socle ligérien. (GRAINDOR M.J. 1967)

En Bretagne méridionale, le feuillet syntectonique de Nantes-Savenay, zone broyée sud-armoricaine, recoupe l'anticlinal migmatitique de Cornouailles décrit par J. COGNE (1957) .

Les lobes granitiques de Vigneux - Orvault et de Mortagne qui s'extravaient vers l'Est à partir de ce linéament, n'ont pas d'enracinement profond élargi. Ils correspondent au matériel alcalin et leucocrate chassé latéralement de la zone de cisaillement sous l'effet de compression, vers des zones superficielles (épizone et mésozone). COGNE (1967)

Les géologues du C.E.A. ont mis en évidence d'importants éléments structuraux concernant d'une part les relations entre les granites et l'encaissant et d'autre part, la structure interne du massif de Mortagne.

C - RELATIONS ENTRE LES GRANITES ET L'ENCAISSANT.

1° - Caractères généraux

Pour poser le problème des relations entre les unités encaissantes, il faut rappeler leur succession en allant du Sud au Nord :

ENCAISSANT SUD	{ - Schistes des Herbiers-Les Epesses - Micaschistes des Epesses <u>Contact tectonique</u> - Gneiss et migmatites des Herbiers <u>Contact concordant et franc</u> }
SEQUENCE MORTAGNE	{ - Granites orientés de la bordure Sud - Granites à gros grain et récurrences gneissiques
	<u>Faïlle de chevauchement de Mortagne</u>
ENCAISSANT NORD	{ - Massifs de roches vertes de l'axe Chateauthébaud-Parthenay - Diorites de la vallée de l'Ouin <u>Faïlle ou contact franc</u> - Micaschistes-Gneiss-Anatexites à cordièrite-sillimanite <u>Contacts francs</u> - Granites à biotite de Roussay et de Moulins <u>Faïlle de chevauchement ou passage progressif</u> - Micaschistes à biotite - Série du Briovérien supérieur }

Le trait géologique majeur du massif de Mortagne consiste en la dissymétrie structurale entre le Sud et le Nord :

- Au Sud, le massif se moule sur une zone de migmatites provenant peut être d'une hybridation entre les gneiss des Herbiers et les granites de Mortagne à l'orogénèse hercynienne. Le niveau de mise en place du massif appartient à la

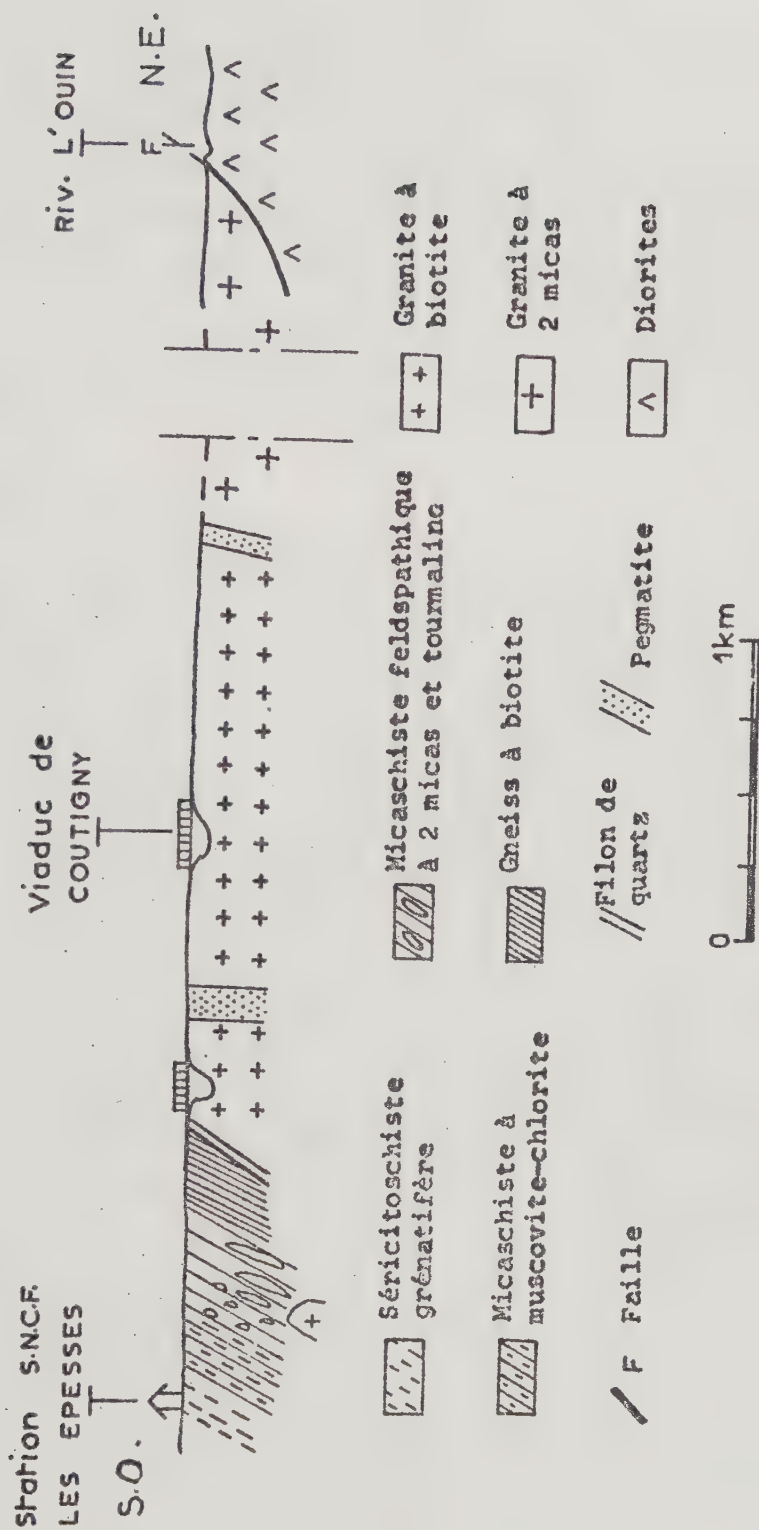


Fig. 5 - Coupe transversale du Massif de Mortagne.

- . Au S.O. - de la voie ferrée les Epesses - Chambretaud
- . Au N.E. - du contact du massif par faille de chevauchement avec les diorites de la vallée de l'Ouin.

zone de ces gneiss supérieurs à biotite-sillimanite-muscovite.

- Au S.E., les granites viennent en contact tectonique avec le Briovérien (Micaschistes, amphibolites), au voisinage de la Dorgissière (Fig. 5), qui n'a pas subi de métamorphisme de contact. Aux Herbiers, les schistes sont redressés au contact des gneiss et migmatites ; aux Epesses, ces roches ont subi une rétro-morphose dynamo-métamorphique dans la zone des micaschistes à muscovite-chlorite. Cette bordure granitique méridionale est découpée transversalement par de nombreuses failles méridiennes à N.E. - S.O.

- Au Nord, le long de la vallée de la Moine, les failles bordières E.-O. sont à pendage accentué (70 à 85° vers le Sud) ; elles témoignent d'un chevauchement général du massif sur son encaissant Nord. Le massif de Gabbros du Pallet a pu remplir le rôle d'un môle résistant ayant induré le socle dont les panneaux migmatisés et renversés entrent à leur tour en contact anormal avec la série stratigraphique du Briovérien supérieur.

2° - L'encaissant Nord.

Entre le massif de Mortagno, sur la bordure tectonique N. et les localités de Montfaucon, St-André de la Marche, St-Christophe des Bois et Mauléon au S.E., s'étend une région tectoniquement très morcelée qui a été étudiée par C. MICHAUD (1964) et dans sa partie S.E. par P. LEBLANC (1971) .

La région de la Romagne est marquée par l'affrontement de la tectonique sud-armoricaine vendéenne et des plis cadomiens de long de la faille de la Bretelière - La Moine, qui se prolonge par la zone mylonitique choletaise ; elle sépare les deux domaines orogéniques : cadomien du Nord et hercynien au Sud (Fig. 6).

a) Le domaine cadomien

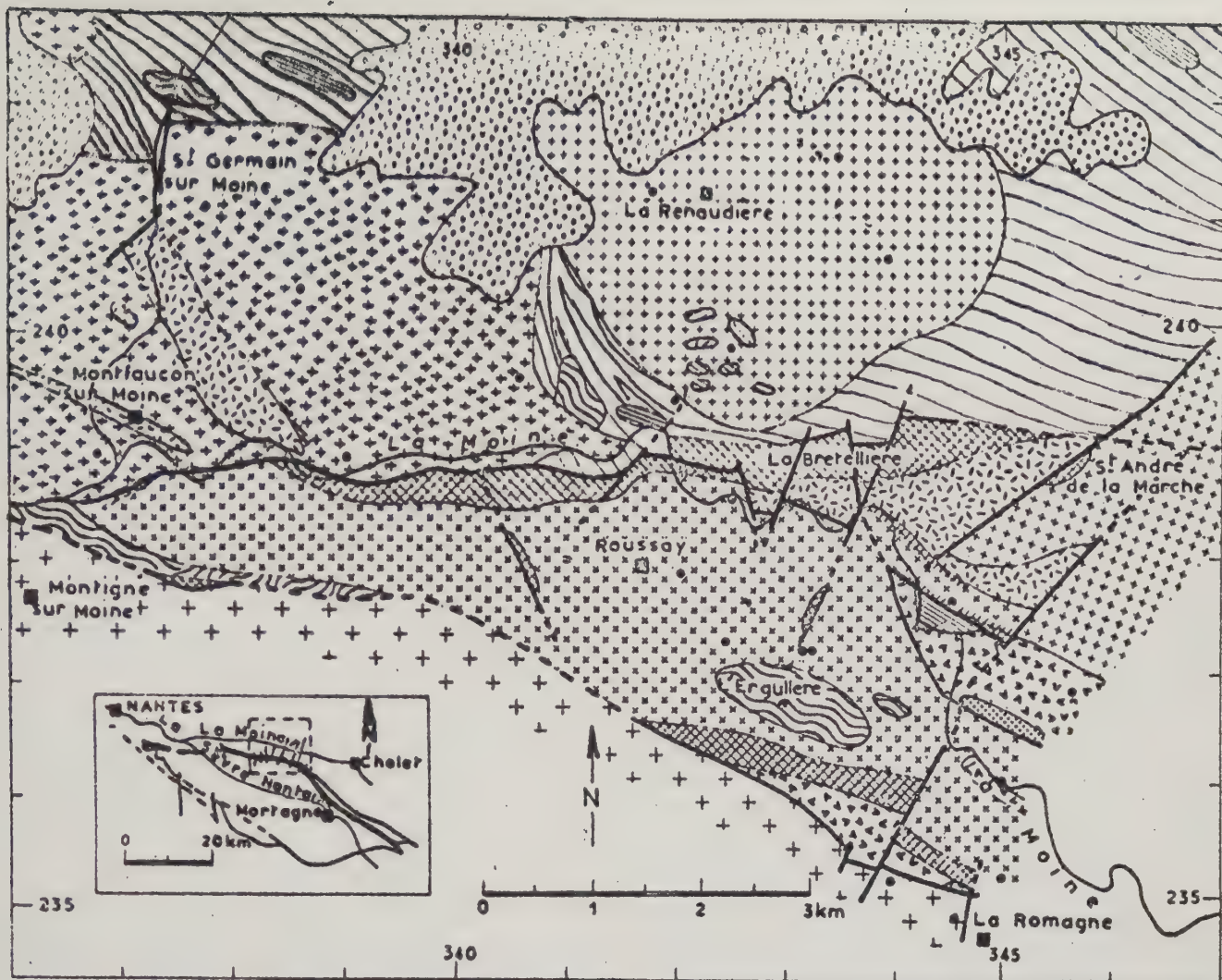
Le plateau des Fanges est formé de micaschistes briovériens recoupés par le granite circonscrit post-tectonique de la Renaudière ; ce dernier semble s'enraciner vers l'Est, tandis que vers l'Ouest il s'enrichit en enclaves (diorites et micaschistes) il est recoupé de filons de pegmatites à muscovite, tourmaline et parfois béryl. Ce dernier s'est mis en place dans une zone fortement infléchie du Briovérien qui le sépare du granite de Saint-Germain-sur-Moine.

b) Le domaine hercynien

Au Sud de la vallée de la Maine, ce domaine est occupé par le massif granitique de Roussay qui se prolonge par ceux de Saint-André-de-la-Marche et vers l'Est par celui de la Batardière ; ces granites sont limités au Nord par des failles de chevauchement E.-O. subverticales et décrochées transversalement.

Le massif de Roussay, qui se termine à l'Ouest en biseau entre les localités de Montigné et de Montfaucon a envahi à l'Ergulière, des gneiss à sillimanite cordièrite dont les lambeaux demeurent les témoins d'un socle précambrien. Pour les géologues du C.E.A. ; il ne semble pas que les granites à biotite, dépourvus de cordièrite, dérivent de l'homogénéisation de ces anatexites.

La présence de ces panneaux d'anatexites à sillimanite-cordièrite,



GRANITES



Granite de Mortagne



Granite de St-André-de-la-Marche



Granite de Roussay



Granite de St-Germain Montfaucon



Granite de la Renaudière

ROCHES BASIQUES



Diorite et microdiorite

BRIOVERIEN



Micaschistes à biotite



Amphibolites



Gneiss à sillimanite et cordiérite et migmatite

CAMBRO-SILURIEN



Rhyolites



Poudingues - Quartzites



Terrains de recouvrement

TECTONIQUE



Faille et faille supposée



Zones écrasées - Mylonites

Points d'échantillonnage
SOURCE: MICHAUD, 1964

Fig. 6

Carte de l'encaissant Nord d'après MICHAUD - C.E.A. - 1964 -

BR. 11111

11111

11111

11111

11111

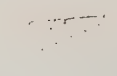
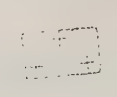
11111

11111

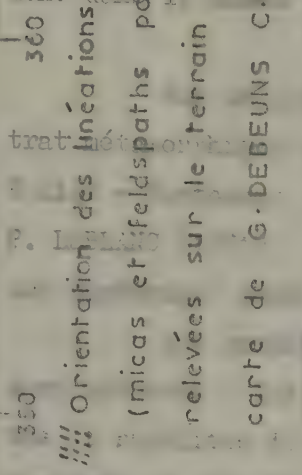
11111

11111

11111



360
Orientation des linéations
(micas et feldspaths)
relevées sur le terrain
carte de G. DEDEUNS C.



signalée par C. MICHAUD (1964) , a été étendue à l'encaissant Nord de Mortagne par P. LEBLANC (1971) sous la direction de FORESTIER et LASNIER qui les rattachent au type des gneiss d'"Aubusson" dont M. DHOSTE (1968) a décrit l'équivalent dans le massif de Bressuire - Moulins (page 17)

Sur un plan régional, le massif de Mortagne chevauche au Nord le substrat métamorphique et le complexe plutonique basique de l'axe Chateauthébaud - Pallot - Parthenay. Il s'agit de roches vertes (péridotites, gabbros) étudiées par P. LEBLANC (1971) . Le socle et les roches basiques sont recoupées par un ensemble plutonique acide : granites à biotite, rhyolites et granites à deux micas.

Les granites à biotite de Roussay, St-Germain, St-André de la Marche sont déformés ; les synclinaux cambrosiluriens sont pincés et redressés (quartzites et rhyolites de la Séguinière) : antérieurs à ceux de Mortagne, ils sont cataclasés et chloritisés, les gneiss encaissants ont subi une microclinisation et une muscovitisation tardive en liaison avec la mise en place du massif de Mortagne.

L'articulation de ce dernier avec l'encaissant Nord met l'accent sur la discontinuité structurale de ses granites avec le substrat métamorphique. L'étude de sa structure interne tend à préciser ses conditions de gisement.

D - STRUCTURE INTERNE

Comme les massifs de granites à deux micas de Bretagne méridionale, celui de Mortagne présente un desserrement des structures vers le S.E., avec affaiblissement progressif du caractère syntectonique dans sa partie la plus renflée entre Roussay et Les Herbiers (Fig.7)

Les équipes du C.E.A. ont relevé les orientations communes des phénocristaux feldspathiques, des linéations de biotites et du quartz en lanières chaque fois qu'il a été possible de le faire sur les affleurements ; ces orientations, soulignées par les enclaves de gneiss, sont concordantes avec celles des migmatites de la bordure Sud et recoupant au Nord l'encaissant plissé.

Ces linéations des granites dessinent une double inflexion ; d'abord orientées E-O au Nord, parallèlement à la faille de contact, elles s'infléchissent suivant la direction méridienne et se raccordent plus au Sud, à la direction de cisaillement NO-SE le long de la bordure méridionale.

Cette architecture semble résulter du sens relatif des cisaillements tangentiels qui ont créé une zone de détente occupée par les granites syncinématiques suivant le modèle avancé pour le massif de Pontivy par J. COGNE. Le problème de l'héritage se trouve posé : les anciennes structures métamorphiques infléchies auraient été réactivées lors du paroxysme hercynien.

La même disposition est retrouvée dans le massif de Guérande : d'après J. COGNE (1960) , le lobe tarditectonique est intrusif dans les schistes cristallins déjà plissés, puis il y a eu torsion tardive du massif en liaison avec l'inflexion des séries cristallophylliennes encaissantes. C'est bien là le style tectonique présenté par le massif de Clisson-Tiffauges (Mortagne)

E - ENCLAVES ET CORTEGE FILONNIEN

Les enclaves de roches de composition voisine ou différente de celle des granites à deux micas sont fréquentes ; leur nature varie suivant la bordure à laquelle on se réfère :

- Au Sud, elles sont surtout composées de gneiss à biotite et à sillimanite, dont la fréquence va en se raréfiant vers la zone intrusive du S.E. et la région centrale du Longeron ;

- Dans l'angle N.E., ce sont dans la vallée de l'Ouin, des diorites en boules silicifiées au contact du massif ;

- Au N.O., leur composition est syénitique dans la région de l'Ecarpière où elles ont tendance à s'aligner parallèlement à la bordure du massif. De telles zones syénitiques n'existent pas dans l'encaissant. Dans le granite, les syénites sont chloritisées et muscovitisées (voir page 58).

D'autre part, de nombreux filons de pegmatites potassiques à microcline perthitique et muscovite, et d'aplites à tourmaline. Ces dernières différenciations marginales jalonnent surtout le contact NE entre la Romagne (NORMAND M. 1969) - traversent le granite. Leur fréquence, jointe à celle des enclaves, est l'indice d'un niveau d'érosion peu profond ne dépassant pas la zone apicale du massif

F - CONCLUSION

Mis en place dans une série de schistes cristallins, les granites de Mortagne recoupent syncinématiquement en biseau l'anticlinal migmatitique de Cornouailles. Ils ont acquis le style intrusif dans le lobe tarditectonique de la partie SE, là où la tectonique cassante, postérieure aux cisaillements se développe dans la zone des micaschistes supérieurs.

Son histoire géologique s'étend depuis l'orogénèse cadomienne jusqu'à la phase tardi-orogénique hercynienne.

La phase cadomienne comporte :

- une phase de sédimentation de type géosynclinal avec la série schisto-gréseuse du Briovérien moyen reposant sur le Briovérien inférieur basique.

- une phase de métamorphisme conduisant à des micaschistes à biotite avec niveaux d'amphibolites ou à des gneiss à sillimanite-cordiérite de type

Aubusson.

- une série de plissement en ondulations de grande amplitude d'axe 90° à 105° E., amenant la superposition anormale des gneiss à biotite et anatexites à sillimanito-cordiérite sur les micaschistes du plateau des Mauges.

L'épisode s'achève par l'émersion de la cordillère ligérienne qui sera érodée au Briovérien supérieur, comme en témoigne la présence de poudingues à Saint Fulgent.

La phase hercynienne consiste en la succession des événements suivants :

- Une phase de granitisation dans la zone des gneiss de l'Ergulière qui ont subi un second métamorphisme léger à andalousite. Les roches basiques briovériennes de la région de Montfaucon auraient été dioritisées.

- une rétro-morphose dynamo-métamorphique des micaschistes dans la zone à chlorite-muscovite. Ces derniers affleurent au Sud du massif dans la région des Epesses et des Herbiers.

- une phase d'intrusion : mise en place syntectonique du massif de Mortagne au cours de la phase paroxysmale située entre le Westphalien et le Stéphaniennien.

L'histoire tectonique de ce massif est complexe ; dans la partie S.E., la description qu'en donne M. LEBLANC (1971) montre :

- des axes tectoniques E.O. "reliques" mais ayant joué comme la faille du Temple ;

- la faille de Mortagne, orientée 60° O. et les failles parallèles qui limitent le massif au N.E.

- des accidents N-S associés à la mise en place de pegmatites et d'aplites ;

- des failles de cisaillement, jalonnées par les gisements d'uranium de la Chapelle Largeau, de la Commanderie et de la Dorgissière. Orientées 20° O. elles recoupent tangentiellement les granites.

- enfin un éventail de fractures N.S. à 20° O. et 40° E. s'ouvre tardivement ; elles sont d'origine post-hercynienne avec jeu au tertiaire.

L'emprise considérable de la tectonique s'est exercée suivant des modalités variées, on peut discerner trois types de déformations :

- Inflexion de la série migmatitique de la bordure Sud sur laquelle se moule le lobe syncinématique des granites porphyroïdes.

- Phase de cisaillement le long des zones bordières en liaison probable avec l'écrasement des granites contre les panneaux de roches vertes du socle (axe plutonique basique Châteauthébaud - Parthenay), phénomènes accompagnés

d'une torsion générale du massif.

- Fracturation subméridienne tardive par rapport à la phase paroxysmale hercynienne.

Dans le cadre de l'histoire géologique du massif, il est intéressant d'analyser au microscope les caractères minéralogiques témoins de l'évolution granitique.

II - ETUDE PETROGRAPHIQUE DESCRIPTIVE.

A - TRAVAUX ANTERIEURS.

Les traits géologiques du massif de Mortagne étant définis, il convient d'introduire l'étude pétrographique en rappelant les résultats antérieurs. A la suite des levés géologiques du C.E.A. couvrant la bande Nantes-Parthenay, il importait de comparer les caractères des granites de Mortagne à ceux des massifs encaissants dont celui de Moulins, dépourvu de gisement uranifère.

Une première campagne d'échantillonnage systématique (M. ROUBAULT, R. COPPENS - 1960) a couvert dans la partie S.E. du massif une bande granitique de 5 x 15 km qui s'étend entre les Epesses au S.O. et Moulins au N.E.

Une série de 156 sondages courts effectués en carottages continus avait été implantée à la maille de 500 m. Les études systématiques en pétrographie ont conduit P. BAILLET (1964) à dégager plusieurs types de granites à deux micas dessinant une structure monoclinale parallèle à la direction sudarmoricaine du massif. Ce sont du S.O. au N.E. :

- les granites orientés migmatitiques passant aux gneiss et micaschistes de la bordure Sud ;
- les granites orientés à gros grain parfois porphyroïdes ;
- les granites orientés à grain fin ;
- les granites laminés à muscovite, séparés des granites à biotite de Moulins par une bande de diorites.

Guidée par la distinction de types pétrographiques, l'observation microscopique a montré :

- des variations primaires dans la structure (orientée, porphyroïde), la taille des grains (fins ou moyens), la proportion des minéraux ; la quantité de biotite diminue du S.O. au N.E.

Ces variations pétrographiques sont le résultat d'une évolution chimique ; de sensibles variations sont enregistrées dans les teneurs en Si O_2 , $\text{Na}_2 \text{O}$, Ca O , $\text{K}_2 \text{O}$, depuis des granites à tendance potassique jusqu'aux termes silico-sodiques représentés par les granites à muscovite et tourmaline.

- des variations secondaires liées à la tectonique. Autour du gisement

de la Chapelle Largeau, les modifications introduites par la microcataclase post-cristalline sont :

- l'exsolution perthitique du feldspath potassique,
- la formation d'albite limpide en échiquier
- la séricitisation des oligoclases résiduels,
- la néoformation de muscovite secondaire chargée en oxydes de fer, leucocène et rutile.

Pour P. BAILLET, la cataclase, sans affecter la composition chimique moyenne des roches, s'accompagne de l'homogénéisation de CaO , MgO et de la mobilité accrue de SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , éléments dont la combinaison donne de l'albite. Cette hypothèse sera confrontée avec l'apport récent des échantillonnages "Fond" (page 53)

B - PRINCIPAUX TYPES ET ZONALITE

1° - Répartition des granites

Les granites à deux micas étudiés, s'ordonnent du S.O. au N.E. en trois grandes unités (Fig. 8) :

- les granites orientés "migmatitiques"
- les granites orientés et porphyroïdes à biotite dominante
- les granites à texture équante parfois laminés, et à muscovite dominante.

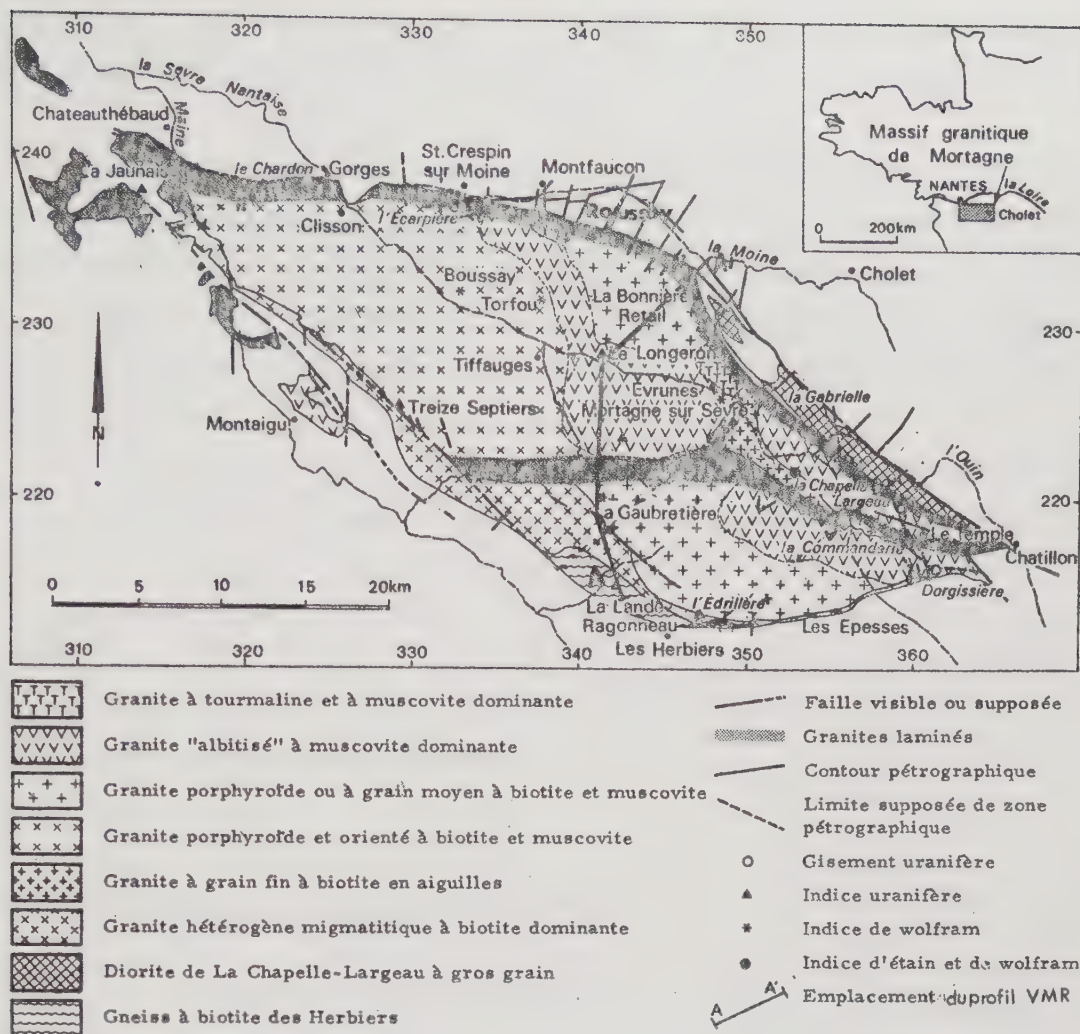
C'est cette distinction qui sert de lien entre les travaux de P. BAILLET sur la partie S.E. et l'étude pétrographique de l'édifice granitique.

- les granites orientés à tendance migmatitique se localisent sur la bordure méridionale le long d'une étroite bande circonscrite entre les localités des Epesses, des Herbiers et de Treize-Septiers. Il s'agit de migmatites à structure embréchitique qui passent à des granites orientés à grain fin avec biotite dominante ; ils sont riches en enclaves de gneiss de la zone à sillimanite-biotite, et sont recoupés par un cortège d'aplitites grenatifères et de pegmatites à quartz-microcline. Leur orientation est primaire sans qu'il y ait eu d'écrasement tectonique. (Pl. 1 Fig. 5) ; elle s'estompe dans les anatexites.

- Au N.E., ils sont en contact franc avec les granites porphyroïdes syntectoniques qui affleurent depuis les régions d'Aigrefeuille et Clisson, jusque dans les environs de Mallièvre au S.E.

Ces granites constituent le type le plus représenté dans le massif. Leur orientation est soulignée par les passées à grain fin. Les feldspaths, les biotites et les lanières de quartz établissent le caractère syncinématique de la roche. Les linéations se moulent sur de nombreuses enclaves gneissiques qui sont de même nature que celles observées dans le granite migmatitique de la bordure Sud.

A proximité des failles bordières, le type porphyroïde acquiert le



le faciès de mylonite ocellée (le Chardon) ainsi appelé à cause de l'abondance des yeux amygdalaires et étirés de microcline. Les granites porphyroïdes perdent peu à peu leur orientation et passent au type à texture équate et à muscovite dominante.

Epanouis dans la partie renflée centrale (Le Longeron) et la région S.E. du massif le (Temple,) les granites à muscovite dessinent des apophyses allongées parallèlement à la direction NO-SE et recoupent localement les granites orientés. Le granite y est plus homogène et leucocrate, les feldspaths potassiques présentent des contours flous tandis que la proportion de muscovite par rapport à la biotite s'accroît.

Les autres types de granites sont à grain fin ; ils affleurent en bandes circonscrites à mise en place syncinématique. Ces derniers sont les plus hétérogènes ; la cartographie du C.E.A. fait apparaître, dans la partie SE du massif des bandes à grain fin orientées N 20° à N 40° O, alors que leurs contacts au NE avec le granite cataclaté à muscovite de la Chapelle-Largeau et au SO avec les granites porphyroïdes suivent la direction sudarmoricaine N 60° O. Ces granites donnent leur orientation aux linéations micacées et à l'alignement des phénocristaux de microcline.

2° - Rappel des caractères microscopiques

La description des conditions de gisement et des caractères microscopiques de ces trois principaux types a conduit à les considérer comme constituant un édifice zonaire dont les caractères varient progressivement en même temps, d'ailleurs, que leur composition chimique (J.P. RENARD - 1969) . L'étude établie d'après un nombre élevé de lames minces, 200 environ pour ce massif, a conduit à individualiser les entités pétrographiques, sommairement rappelées ci-dessous et dont les compositions minéralogiques et chimiques sont résumées dans les tableaux 4 et 5, (annexe)

a) Granites migmatitiques

Leur composition minéralogique est simple :

Quartz	Biotite	Monazite
Microcline	Muscovite	Zircon
Oligoclase zone (An % 32-16)	Sillimanite aciculaire	Apatite

Les variations modales concernent les proportions relatives d'une part des quartz et des biotites, d'autre part des feldspaths calcosodiques et potassiques. Les échantillons les plus leucocrates présentent un grain moyen avec une



1

Q : quartz

M : microcline



2

P : perthite

Pl : plagioclase

My : myrmékite

B : biotite

Ch : chlorite

Mu : muscovite



3

Si : sillimanite

A : apatite

Fig. 1 - Granite migmatitique hétérogène à biotite dominante .

Quartz dispersé en bourgeons - Microcline xénomorphe et poecilitique (myrmékites en bourgeons, petits oligoclases basiques). Oligoclase en cristaux arrondis (32 - 26 % et 20 - 22 % d'anorthite) parfois en voie de microclinisation. Biotites en aiguilles (ponctuées de halos pléochroïques - apatite). Sillimanite aciculaire dans le feldspath potassique et la muscovite amiboïde.

Muscovite primaire en lamelles dispersées automorphes.

La Poirière (X = 344,77 ; Y = 215,06 - Lambert Centre)

L.P. X 30 .

Fig. 2 - Granite porphyroïde orienté à biotite et muscovite

Quartz granulé, étiré en lanières. Microcline subautomorphe mâclé Carlsbad, perthitique. Oligoclase en cristaux tordus parfois zonés (An % : 28 à 12).

Biotite et muscovite primaire en fuseaux sigmoïdes. Apatite et halos pléochroïques (uraninite, monazite, zircon). Muscovite en lamelles fusiformes et d'habitus fissural. Sillimanite aciculaire rare.

Biotite parfois chloritisée avec apparition de feldspath potassique dans les clivages.

Boussay (X = 331,32 ; Y = 233,10 - Lambert Centre)

L.P. X 30 .

Fig. 3 - Granite "albitisé" et à muscovite dominante

Quartz globuleux parfois cataclasé, subautomorphe. Feldspath potassique xénomorphe taché de perthites coalescentes . Cristaux d'albite parallèles aux plans de macle des microclines.

Albite (An : 10 %) en lattes parfois recristallisées dans les fractures avec du quartz et de la muscovite fissurale. Muscovite épitaxique sur la biotite. Chlorite, avec fuseaux de feldspath potassique, désagrégée dans la muscovite secondaire.

Le Longeron (X = 341,35 ; Y = 229,42 - Lambert Centre)

L.P. X 30

GRANITES A 2 MICAS	MIGMATITES GRAIN FIN A SILLIMANITE	ORIENTES PORPHYROIDES A BIOTITE	A MUSCOVITE DOMINANTE	GRAIN FIN A TOURMALINE	GRAINS FINS ORIENTES	
(Surface)	Zone 1	Zone 2	Zone 3		de la zone 2	de la zone 3
ELEMENTS MAJEURS ANALYTIQUE	N = 7	N = 62 σ	N = 24 σ	N = 4	N = 8	N = 7
Si O ₂ 0,70	71,30	72,45 0,93	73,21 0,82	75,20	72,46	72,40
Al ₂ O ₃ 0,30	15,10	14,58 0,40	14,40 0,51	14,18	14,60	14,90
Fe ₂ O ₃ 0,20	1,96	1,59 0,32	1,36 0,27	1,00	1,68	1,61
Mn O 0,01	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03
Mg O 0,30	0,64	0,36 0,15	0,25 0,09	0,17	0,40	0,39
Ca O 0,25	0,99	0,77 0,17	0,64 0,13	0,50	0,94	0,78
Na ₂ O 0,20	3,09	3,10 0,25	3,35 0,25	3,10	3,01	3,18
K ₂ O 0,15	5,10	5,33 0,42	4,74 0,22	4,42	5,39	5,12
Ti O ₂ 0,07	0,38	0,20 0,08	0,16 0,07	0,08	0,25	0,19
P.F. 0,12	1,55	1,38 0,29	1,39 0,24	1,19	1,37	1,27
K/Na	1,08	1,12	0,94	0,91	1,19	1,04
K - (Na + Ca)	- 10	- 2	- 18	- 31	+ 1	- 10
NORMES - MODES	.	.	.	.	.	.
QUARTZ	31,5 - 20 à 30	29,5 - 29 à 32	32,1 - 31 à 36	36,6 - 35 à 40	32,8	32,4
FELDSPATH K	14,0 - 20 à 26	22,2 - 24 à 28	20,5 - 22 à 26	14,5 - 18 à 23	18,0	16,0
ALBITE	28,5 - 30 à 35	29,3 - 27 à 33	31,7 - 29 à 35	32,7 - 30 à 36	27,0	29,5
ANORTHITE	5,5 - 32 à 16	5,0 - 28 à 12	3,1 - 12 à 4	2,0 - 10 à 4	4,5	4,0
BIOTITE	8,5 - 8 à 15	8,5 - 8 à 10	4,6 - 3 à 5	3,1 - 1 à 3	6,3	6,0
MUSCOVITE	12,0 - 0 à 5	5,5 - 4 à 8	8,0 - 7 à 20	13,2 - 3 à 7	11,4	12,1
PHENOMENES MINERALOGIQUES	Micro- clinisation	Perthitisation Albitisation	Muscovitisation			
MYRMEKITISATION	Fréquente	Faible	Absente	Absente	Faible	Faible
MICROCLINISATION DU PLAGIOCLASE	En taches	Auréolaire	Antiperthite	Absente	Auréolaire	Auréolaire
PERTHITES	Absentes	Taches	Taches coalescentes	Taches	Films	Tigrées
ALBITISATION DU FELDSPATH POTASSIQUE	Absente	→ Importante			Faible	Faible
MUSCOVITISATION DU FELDSPATH	Rare	Fréquente	Fréquente	Faible	Fréquente	Fréquente
MUSCOVITISATION DE L'ALBITE	Absente	Absente	Fréquente	Fréquente	Absente	Fréquente
CHLORITISATION DES BIOTITES	Faible	Faible	Importante	Importante	Faible	Faible
MUSCOVITISATION DES BIOTITES	Absente	Partielle	Importante	Faible	Fréquente	Partielle
MICROCATACLASE	Absente	Syncinématique	Post-cristalline	Faible	Syncinématique	Syncinématique

Tableau 4 : Compositions chimiques et minéralogiques des principaux types pétrographiques du Massif de Mortagne.

σ Ecart types

N Nombre d'échantillons

* Norme de Barth

o An. modales (Comptage de 2000pts par lame mince dans 10 L.M.)

Type de granites	Z O N E I Migmatitiques à grain fin		Z O N E II Porphyroïdes orientés Type grain fin						Z O N E III Gros grain à Muscovite		Grain fin à Tourmaline
	120 La Poirière 344,77 215,06	122 Le Sourdy 341,80 221,60	2 Clisson 325,05 238,70	42 La Pépière 315,17 241,15	60 La Sablière 337,65 225,27	57 Fichonnière 336,30 233,77	99 L'Île 350,64 223,50	102 Marquissière 348,35 225,90	36 Gourbellière 334,45 237,22	93 Lorgeron 341,03 229,47	
Echantillon CAVA											
Localisation x											
y											
SiO ₂	71,20	67,70	71,20	71,90	72,00	69,80	71,80	72,20	72,70	73,80	75,30
Al ₂ O ₃	15,10	16,30	14,50	14,60	14,70	15,00	14,40	14,40	14,30	14,10	14,60
Fe ₂ O ₃	2,02	3,40	2,27	1,28	2,12	2,66	1,63	1,38	1,78	0,98	0,99
MnO	0,03	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,05	0,02
MgO	0,69	0,98	0,54	0,54	0,61	0,84	0,44	0,29	0,24	0,24	0,09
CaO	1,03	1,72	1,23	1,04	1,13	1,48	0,79	0,79	0,89	0,69	0,59
Na ₂ O	2,91	3,20	3,41	3,21	3,11	3,21	3,36	3,46	3,71	3,15	3,91
K ₂ O	5,29	4,73	4,75	5,24	5,44	5,38	5,09	5,09	4,50	4,59	4,40
TiO ₂	0,30	0,04	0,25	0,15	0,45	0,46	0,25	0,14	0,22	0,17	0,03
P.F.	1,02	1,37	0,88	0,95	1,08	1,14	1,16	1,08	0,97	1,26	0,93
Sn	8	7	12	16	19	<2	12	43	36	61	8
Sr	90	90	90	70	60	400	40	15	10	12	96
Ba	495	545	425	440	390	50	295	150	35	185	485
Ga	24	29	23	21	24	16	21	26	30	28	25
Pb	26	17	22	23	19	<6	20	19	12	8	44
Be	4	4	5	9	13	<3	9	15	9	8	11
Zn	83	96	62	77	68	41	40	65	74	77	20
Cu	4	6	<3	<3	<3	10	52	<3	<3	20	<3
V	14	17	<10	<10	<10	156	<10	<10	<10	<10	<10
En μg/g											
Th μg/g	40,02	113,65	25,65	29,05	—	—	28,69	—	—	2,47	0,67
U Total	4,7	12,7	6,4	10,9	6,3	8,0	7,7	13,0	16,8	19,8	3,3
U Fixé	3,3	5,1	2,7	9,1	4,9	5,2	4,2	3,2	4,1	11,0	1,9
U _P /U _T	0,7	0,4	0,4	0,9	0,8	0,6	0,5	0,2	0,2	0,5	0,6
Th/U _T	8,50	8,90	4,0	2,70	—	—	3,7	—	—	0,14	0,20

Tableau 5 : COMPOSITION CHIMIQUE D'ÉCHANTILLONS TYPES DES ZONES PÉTROGRAPHIQUES DU MASSIF DE MORTAGNE - (DOSAGES DES ÉLÉMENTS EN TRACES - B.R.G.M. ORLÉANS - SPECTROMÉTRIE OPTIQUE D'ÉMISSION). DOSAGES DE L'URANIUM ET DU THORIUM - C.R.R. - NANCY

tendance au développement du microcline, du quartz et de la muscovite, association qui se retrouve dans les pegmatites.

L'évolution minéralogique se manifeste par la microclinisation en taches de l'oligoclase avec apparition de myrmérites réactionnelles. La sillimanite aciculaire résiduelle est remplacée par des lames amiboïdes de muscovite ou bien elle subsiste dans le microcline. (Pl. II Fig 1)

b) Granites porphyroïdes orientés. (Pl. I Fig. 1)

Leur orientation est de nature syncinématique : les micas prennent la forme de fuseaux sigmoïdes étirés suivant un plan de foliation. Les lanières de quartz granulé contournent les plagioclases tordus ou brisés. La composition minéralogique est :

Quartz	Biotite	Apatite
Microcline et orthoclase perthitique	Muscovite	Uraninite
Oligoclase parfois zoné		Monazite
(An % 28 à 12)		Zircon

Les variations modales consistent en la croissance des rapports plagioclase/feldspaths potassique et muscovite/biotite.

La présence de la sillimanite résiduelle caractérise le faciès à grain fin. (Pl. III Fig. 1)

Les phénomènes minéralogiques sont :

- La microclinisation partielle du plagioclase.
- Le développement de perthites et d'une petite quantité de muscovite amiboïde en association symplectique avec le quartz au sein du microcline. (Pl. III Fig. 2)
- La cristallisation de muscovite en intercroissance avec la biotite dont les lamelles à bords sombres sont transformées en séricite.

c) Granites à muscovite dominante

Leur composition minéralogique s'établit comme suit :

Quartz	Muscovite	Uraninite	Fluorine
Microcline et perthite	Biotite	Apatite	Pyrite
Albite	Tourmaline		Mispickel

Le quartz est rassemblé en plages à contours subautomorphes ou granulé dans les zones tectoniques de l'extrémité S.E. du massif.

Les feldspaths montrent la dominance de l'albite (en lattes automorphes) sur le microcline (en plages xénomorphes). (Pl. II Fig.3)

L'albite s'exprime soit en cristaux indépendants limpides avec des inclusions d'apatite, soit à la périphérie d'orthoclases piquetés et non quadrillés : $2V = 55^\circ - 65^\circ$ ou au coeur de microclines quadrillés : $2V = 80^\circ - 85^\circ$.

L'envahissement du feldspath potassique par l'albite parallèlement à son plan de macle sera appelé "albitisation" dans la suite de l'étude

Il s'associe un peu de muscovite aux perthites, mais ce stade demeure subordonné à l'albitisation. (Pl.II Fig.4).

Les micas présentent la dominance de la muscovite sur la biotite qui a tendance à s'effiloche. Dans les zones non tectonisées, une muscovite d'origine deutérique englobe la biotite en s'orientant sur elle (Pl. II Fig.2) d'une façon épitaxique.

Les biotites sont parfois transformées en chlorite et feldspath potassique à fines inclusions; il y a naissance de ripidolite comme l'ont montré les mesures de réfringence sur les phyllites séparées ($N_m = 1,59$ à $1,63$) et les teintes de polarisation violacées (Pl III Fig.5). Dans les zones cataclasées, on observe une interstratification du type chlorite-muscovite-~~(vermiculite?)~~ La muscovite est microcisaillée, le quartz est granulé fin, l'albite a subi une torsion; les relations biotite-chlorite-muscovite régies par la tectonique sont discutées plus loin (page 38).

La muscovite envahit la chlorite qui s'y désagrège parfois en vermicules dont la teinte de polarisation s'élève jusqu'à la fin du premier ordre.

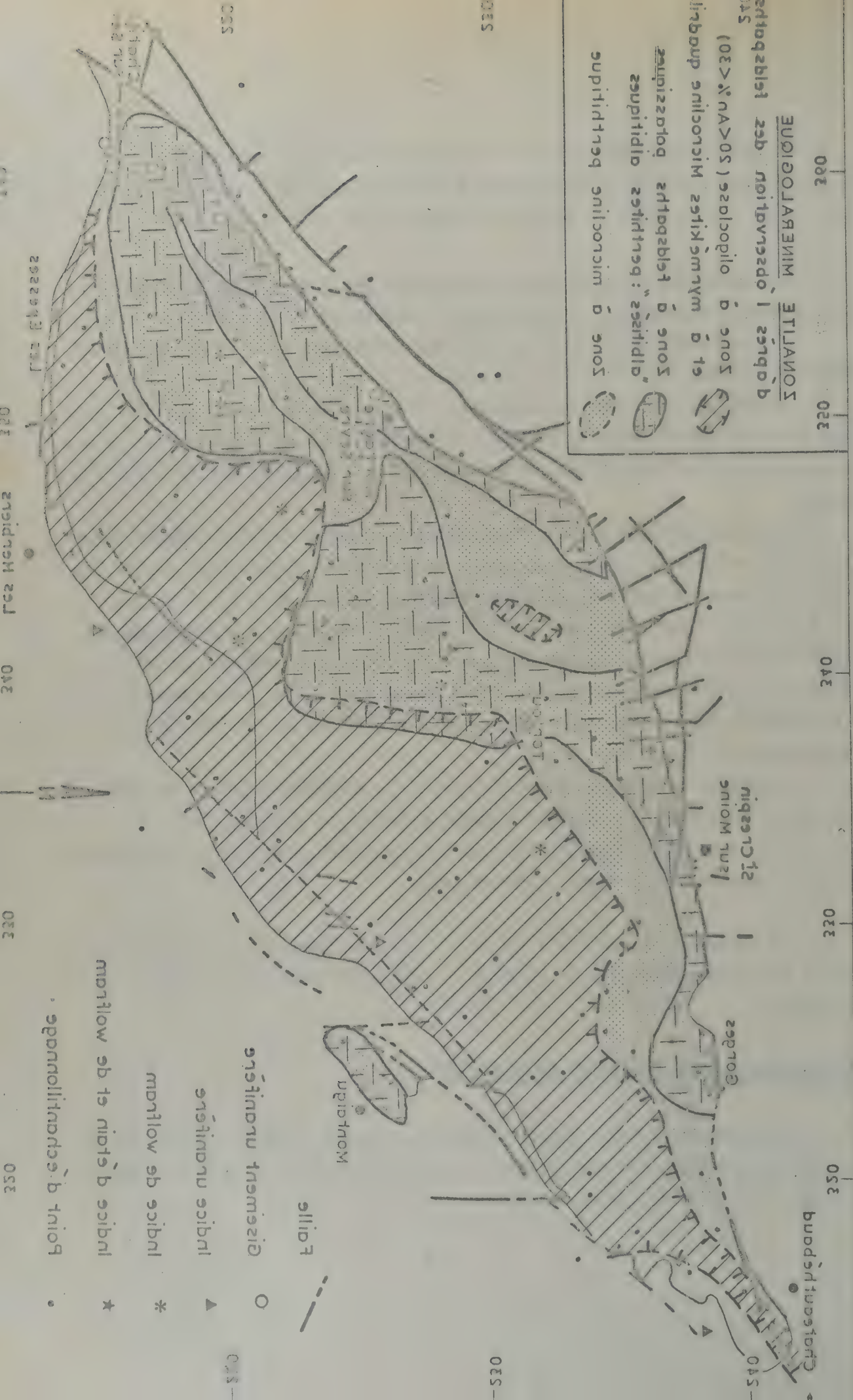
Cette muscovite semble postérieure à la cristallisation de la tourmaline dont elle englobe des prismes microscopiques.

Les différentes descriptions microscopiques trouvent leur unité dans la succession des paragenèses qui se traduit à l'échelle du massif par une zonalité minéralogique.

C - ZONALITE MINERALOGIQUE DU MASSIF DE MORTAGNE

L'intérêt de l'étude microscopique de nombreuses lames minces est de définir les associations minéralogiques en vue de retracer l'évolution probable dans le cadre de la zonalité du massif.

• engastion ab gressal ub satinsurg sob antingalel sel ortus enotidicocasa sob noilitraguèr al ob etymd : e .314



TYPES PETRO- GRAPHIQUES	GRANITES MIGMATITI- QUES A BIOTITE SILLIMANITE - MUSCOVITE	GRANITES PORPHY- ROIDES A DEUX MUSCOVITE	GRANITES ALBITISES A MUSCOVITE DOMI- NANTE
MINERALOGIE	MIGMATITES DES HERBIERS		
ASSOCIATIONS MINERALOGIQUES	Microcline-Oligo- clase-Myrmékites Biotite-Sillimanite Muscovite	Orthoclase- Perthite Muscovite Biotite-Muscovite	Perthite-Albite Chlorite-Muscovite Biotite

Tableau n°3 : L'évolution du massif de Mortagne est supposée partir d'un matériau initial dont les migmatites des Herbiers seraient le témoignage; les mobilisations et recristallisations plus ou moins complètes aboutissent aux différents types de granites.

Les inclusions radioactives comprennent d'une part monazites et zircons minéraux localisés principalement dans les biotites des migmatites et granites migmatitiques et d'autre part les uraninites souvent associées à l'apatite dans les granites porphyroïdes à biotite et les granites à muscovite dominante. L'association uraninite-apatite est signalée page 108.

Les associations qui recèlent des minéraux reliques permettent de dégager l'évolution minéralogique.

1° - Albitisation des feldspaths

a) L'association microcline-oligoclase basique à coeur séricitisé et à bordure zonée ou myrmékitique, se localise dans les granites orientés de la moitié SO du massif où ils passent en contact avec les migmatites à biotite-sillimanite des Herbiers (Fig.9).

Vers le NE, le plagioclase, en cristaux automorphes, s'acidifie alors que des plagioclases reliques plus basiques subsistent et sont corrodés par le microcline.

b) Les perthites mâclées albite, associées aux feldspaths potassiques "albitisés" se localisent dans les granites à muscovite dominante des régions centrales et SE du massif entre Torfou et Châtillon-sur-Sèvre (Zone du Longeron), ainsi qu'à la périphérie des granites porphyroïdes syncinématiques. L'albitisation du feldspath potassique constitue le phénomène majeur dans le massif de Mortagne. L'accentuation de la tendance de l'albitisation conduit au stade d'aplite à tourmaline. A ce stade la fraction ferromagnésienne n'est plus représentée que par la chlorite.

2° - Chloritisation des biotites

Parmi les micas, on assiste à deux types d'associations minérales :

- d'une part, biotite-feldspath. potassique-chlorite (Pl. III -
 - d'autre part biotite-chlorite-muscovite (Pl. III - fig.6); ^{fig.4)}
- stade intermédiaire vers des associations biotite-muscovite ou chlorite-muscovite dont il sera question plus loin; ces deux types sont souvent associés dans la même roche.

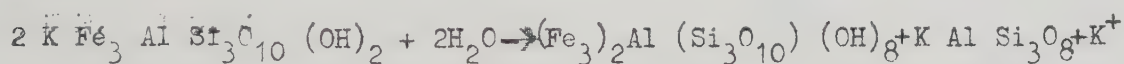
Le domaine des biotites chloritisées (Fig.10) s'épanouit en forme de sablier dont l'axe de symétrie serait orienté NE-SO transversalement à la partie renflée du massif; mais il s'étend également tout le long des zones bordières principalement septentrionales.

Compte tenu de la zonalité minéralogique du massif la chloritisation se développe dans la partie NE du massif dans l'aire des granites albitisés, cependant son extension en bordure du massif le long des grandes structures marginales conduit à mettre en relation chloritisation et tectonique. Au coeur du massif, cette dernière relation est toutefois moins évidente et demande une argumentation supplémentaire (p.50).

Au niveau de la lame mince et quelquesoit le granite considéré, la chloritisation affecte en général les biotites qui ont subi un laminage ou une microcataclase postcristalline (Pl. III Fig.6); dans les granites non cataclasés mais orientés syncinématiquement, la chloritisation s'estompe bien que les biotites puissent être fusiformes. Enfin, l'apparition de la chlorite est indépendante de l'altération météorique comme il a été constaté dans les sondages du massif de Bressuire.

La biotite se chloritise avec néoformation de feldspath potassique et disposé en fuseaux dans les anciens clivages de la biotite (Pl. III Fig.4), du leucoxène prend également naissance.

Ce schéma rappelle celui décrit par CHAYES (1955) pour qui la transformation s'écrit :

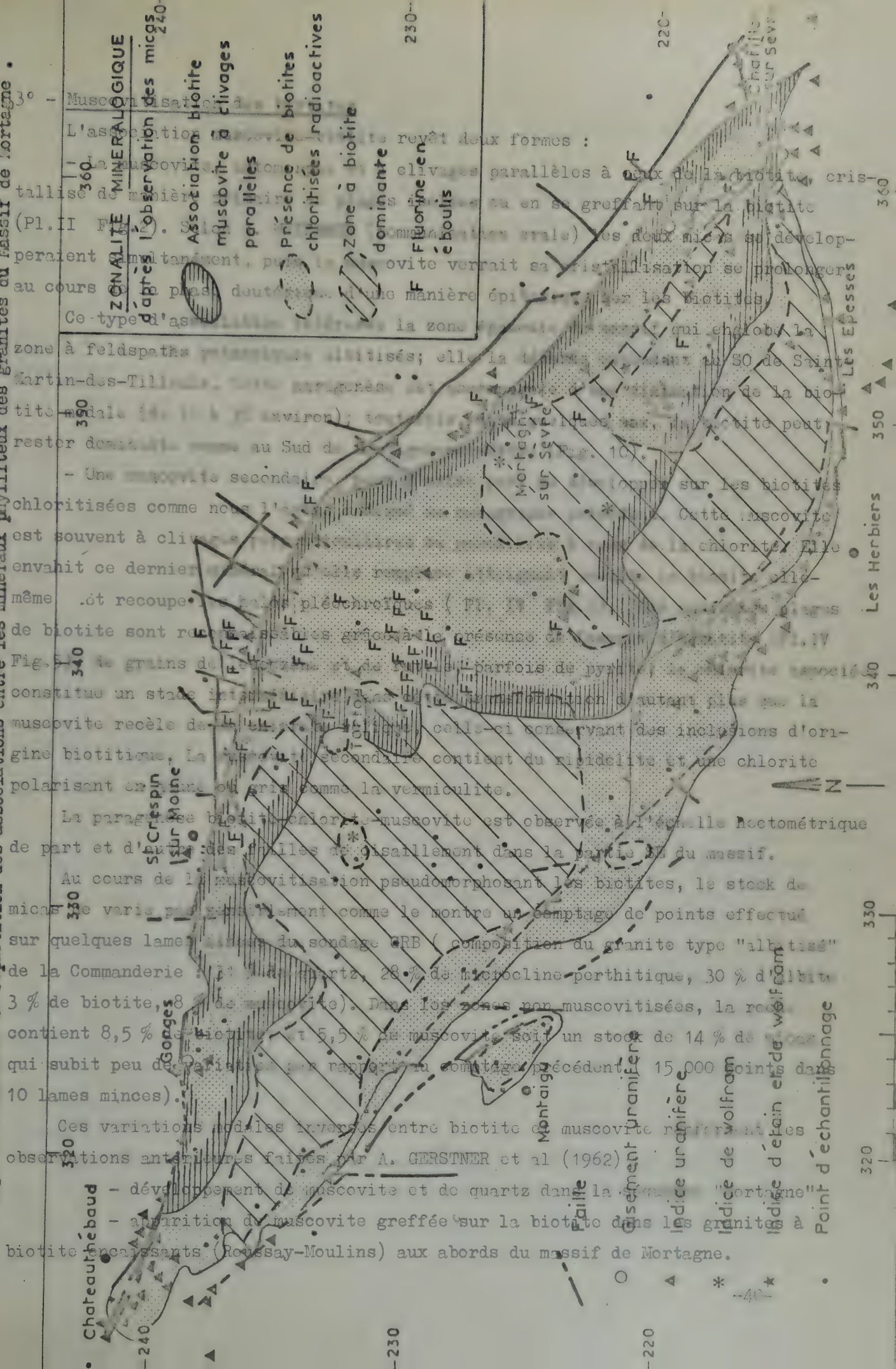


Biotite ferrifère

Chlorite ferrifère Orthose

Les caractères minéralogiques montrent que la chloritisation intervient au cours de la phase de l'albitisation et après elle. La formation de la chlorite relèverait d'une phase de basse température; d'après WINKLER (1968) elle correspondrait au faciès quartz-albite-muscovite-chlorite; tandis que pour MULLER (1966) elle est considérée comme une transformation autométamorphique, souvent concomitante d'une muscovitisation des biotites.

Fig. 10 : Carte de la répartition des associations entre les minéraux phylliteux des granites du Massif de Montagne.



3° - Muscovitisation des biotites

L'association muscovite-biotite revêt deux formes :

- La muscovite, automorphe et à clivages parallèles à ceux de la biotite, cristallise de manière primaire en plages isolées ou en se greffant sur la biotite (Pl.II Fig.2). Selon A. WEISBROD (communication orale) les deux micas se développeraient simultanément, puis la muscovite verrait sa cristallisation se prolonger au cours de la phase deutérique d'une manière épitaxique sur les biotites.

Ce type d'association intéresse la zone épanouie du massif qui englobe la zone à feldspaths potassiques albitisés; elle la déborde cependant au SO de Saint-Martin-des-Tilleuls. Cette paragenèse est accompagnée d'une diminution de la biotite modale (de 10 à 3% environ); toutefois, dans quelques cas, la biotite peut rester dominante comme au Sud de Mortagne-sur-Sèvre (Fig. 10).

- Une muscovite secondaire peut d'autre part se développer sur les biotites chloritisées comme nous l'avons indiqué au paragraphe précédent. Cette muscovite est souvent à clivages perpendiculaires ou parallèles à ceux de la chlorite. Elle envahit ce dernier minéral qu'elle remplace atteignant ensuite la biotite elle-même et recoupe les halos pléochroïques (Pl. IV Fig.3). Les anciennes plages de biotite sont reconnaissables grâce à la présence de fuseaux d'hématite (Pl.IV Fig.5), de grains de leucoxène et de rutile, parfois de pyrite; la chlorite associée constitue un stade intermédiaire dans cette transformation d'autant plus que la muscovite recèle de la chlorite relique, celle-ci conservant des inclusions d'origine biotitique. La muscovite secondaire contient du ripidolite et une chlorite polarisant en jaune ou gris comme la vermiculite.

La paragenèse biotite-chlorite-muscovite est observée à l'échelle hectométrique de part et d'autre des failles de cisaillement dans la partie SE du massif.

Au cours de la muscovitisation pseudomorphosant les biotites, le stock de micas ne varie pas sensiblement comme le montre un comptage de points effectué sur quelques lames minces du sondage GRB (composition du granite type "albitisé" de la Commanderie : 31 % de quartz, 28 % de microcline perthitique, 30 % d'albite 3 % de biotite, 8 % de muscovite). Dans les zones non muscovitisées, la roche contient 8,5 % de biotite, et 5,5 % de muscovite soit un stock de 14 % de micas qui subit peu de variation par rapport au comptage précédent (15 000 points dans 10 lames minces).

Ces variations modales inverses entre biotite et muscovite renforcent les observations antérieures faites par A. GERSTNER et al (1962) :

- développement de muscovite et de quartz dans la séquence "Mortagne"
- apparition de muscovite greffée sur la biotite dans les granites à biotite encaissants (Roussay-Moulins) aux abords du massif de Mortagne.

1° - Conditions dans lesquelles la chloritisation des biotites est suivie d'une muscovitisation ultime .

Les relations entre les deux paragonèses biotite-chlorite-feldspath potassique et biotite-chlorite-muscovite qui s'observent dans les zones ayant subi l'albitisation et une tectonique cisailante, sont envisagées dans le cadre de la zonalité et des conditions de cristallisation.

a) Par rapport à la zonalité pétrographique :

* Dans les granites porphyroïdes , les biotites et muscovites primaires cristallisent synchroniquement en fuseaux; la chloritisation de la biotite ne se développe que dans les zones tectoniques.

* Dans la zone "albitisée" la chlorite et le feldspath potassique naissent à partir des biotites indépendamment des phénomènes tectoniques; à proximité des failles de cisaillement, on observe souvent le développement de la muscovitisation secondaire.

Schématiquement, il se dégage la succession de la phase I progressive et de la phase II brutale :

Association de type I

Quartz globuleux
Biotite-Chlorite-Feldspath potassique
Feldspath potassique piqueté
Albite-Apatite

Association de type II

Quartz étiré et granulé fin
(Biotite)- Chlorite-Muscovite
Albite-Séricite

Microcisaillement

Albitisation - Chloritisation des biotites du feldspath potassique	Muscovitisation et chloritisation des biotites
---	---

Lorsque la tectonique tardive (cisaillements) est intervenue, la biotite "muscovitisée" devient plus abondante que la biotite chloritisée. La chlorite se désagrège dans la muscovite néoformée dont les lamelles plissotées recoupent les biotites.

b) Conditions de cristallisation

La dernière observation faite dans les zones tectonisées suggère que les phénomènes de chloritisation et de muscovitisation des biotites sont en relation avec les conditions tectoniques.

Cette évolution ultime se produit à la fin des processus autométamorphiques quand les roches tendent vers la composition d'un granite formé d'albite, de quartz et de muscovite.

Il n'a pas été possible de déterminer le champ de la température de cristallisation de la chlorite et de la muscovite secondaire en l'absence d'expérimentation du type détermination des inclusions fluides d'après les travaux mis en oeuvre par B.POTY (1969).

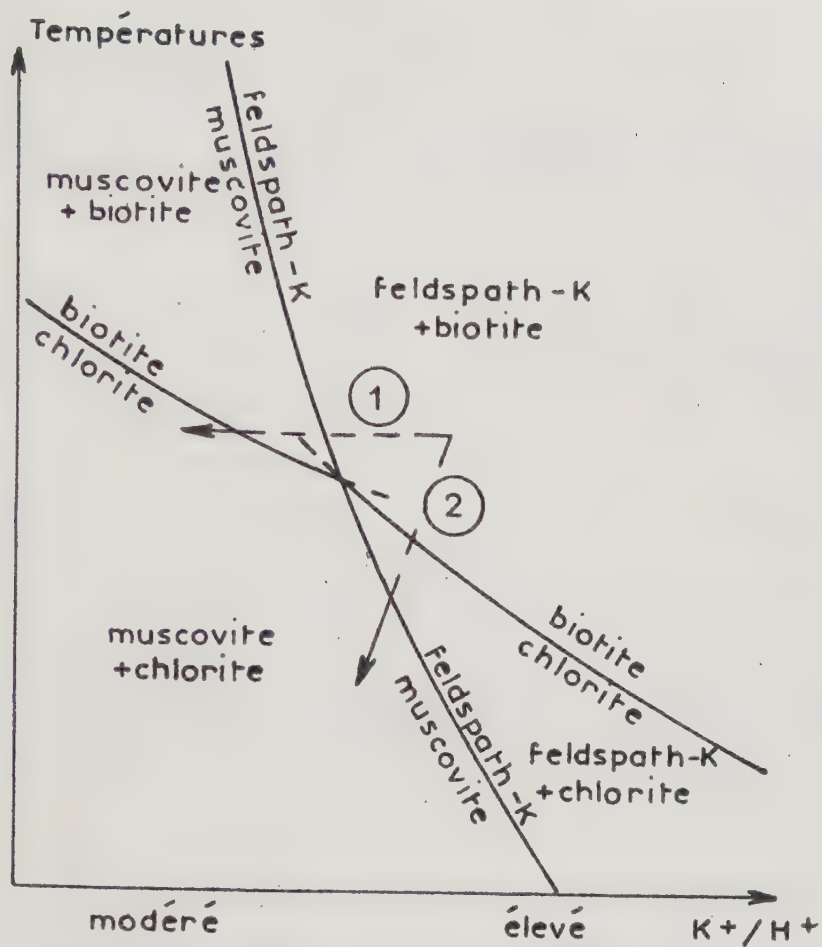


Fig. 11:

Champ relatif de stabilité des couples de minéraux dans le système biotite - orthose - muscovite - chlorite (K^+ , H_2O à pression donnée et avec excès de silice et sans carbonate - MAC NAMARA, 1966-)

Les chemins ①, ② représentent une évolution possible pendant le déroulement de la phase deutérique dans le massif de Mortagne.

Toutefois, le diagramme du champ relatif de stabilité des principaux couples de minéraux en présence (MAC NAMARA, 1966) permet de schématiser nos observations; la succession des paragenèses précitées se serait produite suivant deux voies possibles (Fig.11)

- le trajet 1 représente l'évolution du massif à température constante traduite par la zonalité des granites syncinématiques;
- le trajet 2 traduit l'évolution minéralogique au cours de la phase ultime succédant à l'albitisation et se produisant à température décroissante.

0 - CONCLUSION

L'analyse pétrographique a permis de distinguer plusieurs types de granites à deux micas qui s'ordonnent spatialement en zones parallèles à l'allongement du massif de Mortagne; ce sont du Sud au Nord les granites :

- migmatitiques et anatexites à sillimanite
- porphyroïdes syncinématiques
- à grain équant et à muscovite dominante

L'étude microscopique conduit à identifier une succession de phénomènes minéralogiques qui se recouvrent partiellement dans le temps et dans l'espace.

L'évolution majeure de ces granites consiste en l'albitisation du feldspath potassique accompagnée ou suivie de la chloritisation des biotites avec néoformation de feldspath potassique. La composition tend vers un assemblage de quartz, d'albite et de muscovite.

La muscovite se développe sous forme de deux types principaux de cristaux qui sont soit indépendants des autres minéraux phylliteux, soit associés aux biotites :

- les uns, très plus souvent automorphes qu'en fuseaux sigmoïdes, en cristaux isolés ou associés à la biotite.
- les autres secondaires xénomorphes; ils tendent à remplacer :
 - . la sillimanite dans les granites migmatitiques,
 - . de façon discrète le feldspath potassique perthitique dans les granites porphyroïdes,
 - . la biotite avec sa phase intermédiaire chloriteuse, dans les granites à feldspaths potassiques perthitisés.

Nous avons montré l'existence de deux types d'associations de la muscovite et de la biotite; le premier type, qui correspond à un phénomène primaire, se manifeste comme une croissance épitaxiale de la muscovite sur la biotite, il ne s'agit donc pas à proprement parlé d'une muscovitisation. C'est au contraire dans une phase ultime et localisée, régie par une tectonique de cisaillement, que se développe une véritable muscovitisation de la chlorite et de la biotite.

Dans la séquence de type "Mortagne", les paragenèses initiales et l'évolution convergent dans le développement de la muscovite : peu abondante

dans les granites orientés à résidus gneissiques de la bordure Sud, la muscovite modale atteint près de 20 % dans les granites "albitisés".

Les transformations minéralogiques décrites sont l'expression d'une évolution chimique dont la présentation sera donnée à l'échelle du massif de Mortagne.

III - EVOLUTION CHIMIQUE DES GRANITES A L'ECHELLE DU MASSIF.

A - INTRODUCTION.

Le problème des relations entre les phénomènes minéralogiques décrits au second chapitre et l'évolution chimique du massif vise la définition d'un modèle pouvant être appliqué à d'autres districts uranifères.

Les diagrammes utilisés servent à préciser les entités géochimiques et à définir leurs relations avec les domaines pétrographiques individualisés et les phénomènes minéralogiques.

Dans le cadre de la zonalité et de l'évolution chimique, il sera tenté d'analyser la position des principaux gisements et de suivre à l'échelle du gisement de l'Ecarpière, la position des granites encaissants dans le schéma évolutif esquissé à l'échelle du massif.

A l'échelle régionale, les granites de Mortagne seront comparés à ceux des massifs encaissants de manière à dégager les tendances évolutives majeures, puis les situer par rapport à celles mises en évidence dans les granites du Limousin étudiés par G. RANCHIN - (1970)

B - ELEMENTS MAJEURS DES ROCHES

Les différences de composition chimique apparaissent entre les trois domaines pétrographiques (Tableau 4 et 5).

1° - Granites migmatitiques

Leur composition chimique les situe parmi les granites monzonitiques avec une tendance alumineuse et calcoferro-magnésienne ; ils se différencient nettement des granites à biotite de type Moulins (situés au Nord de Bressuire) par leur tendance plus potassique et moins calcosodique. Leur rapport Potassium/Sodium dépasse l'unité.

2° - Granites porphyroïdes orientés.

Leur composition chimique est assez voisine de celles des granites du domaine précédent, mais plus homogène. Ils montrent une régression du caractère calco-ferromagnésien tandis que progresse le caractère silico-sodique ; ils concrétisent l'évolution majeure du massif vers la sodification.

Les granites à grain fin appartiennent à un ensemble un peu plus calique que les faciès à gros grain. Cependant leur tendance potassique et alumi-

neuse est analogue à celle du type porphyroïde.

Les types à grain fin sont à rapprocher des granites migmatitiques par leur tendance calcosodique laissant entrevoir l'hypothèse de l'héritage géochimique à partir des gneiss à sillimanite et deux micas. La quantité de ferromagnésiens tend à diminuer.

3° - Granites à muscovite dominante

Leur composition chimique souligne un caractère silico-sodique plus accusé que dans les précédents et accompagné d'un départ progressif des éléments suivants : fer, magnésium, titane, potassium, aluminium et calcium.

Les granites à grain fin à tourmaline sont les plus silico-sodiques du massif ; leur rapport Potassium/Sodium est inférieur à 1.

- RELATION ENTRE L'EVOLUTION CHIMIQUE ET LES PHENOMENES MINERALOGIQUES

Les variations chimiques qui se manifestent dans l'ensemble des granites à deux micas sont présentées dans les diagrammes (Si, K, Na, Ca, Fe, Mg, Ti) suivant la méthode préconisée par H. de la ROCHE (1964-1966).

1° - Diagrammes (Si, K, Na, Ca)

Dans le diagramme construit avec les paramètres $K - (Na + Ca)$ en abscisse, $Si/3 - (K + Na + 2 Ca/3)$ en ordonnée, les points figuratifs de l'échantillonnage dessinent trois nuages elliptiques ou domaines géochimiques (Fig.12) qui correspondent géographiquement aux trois entités pétrographiques suivantes (Fig.8) :

- Zone 1 : granites hétérogènes "migmatitiques" à biotite dominante
- Zone 2 : granites porphyroïdes à biotite et muscovite et granites à grain fin associés
- Zone 3 : granites "albitisés" et à muscovite dominante

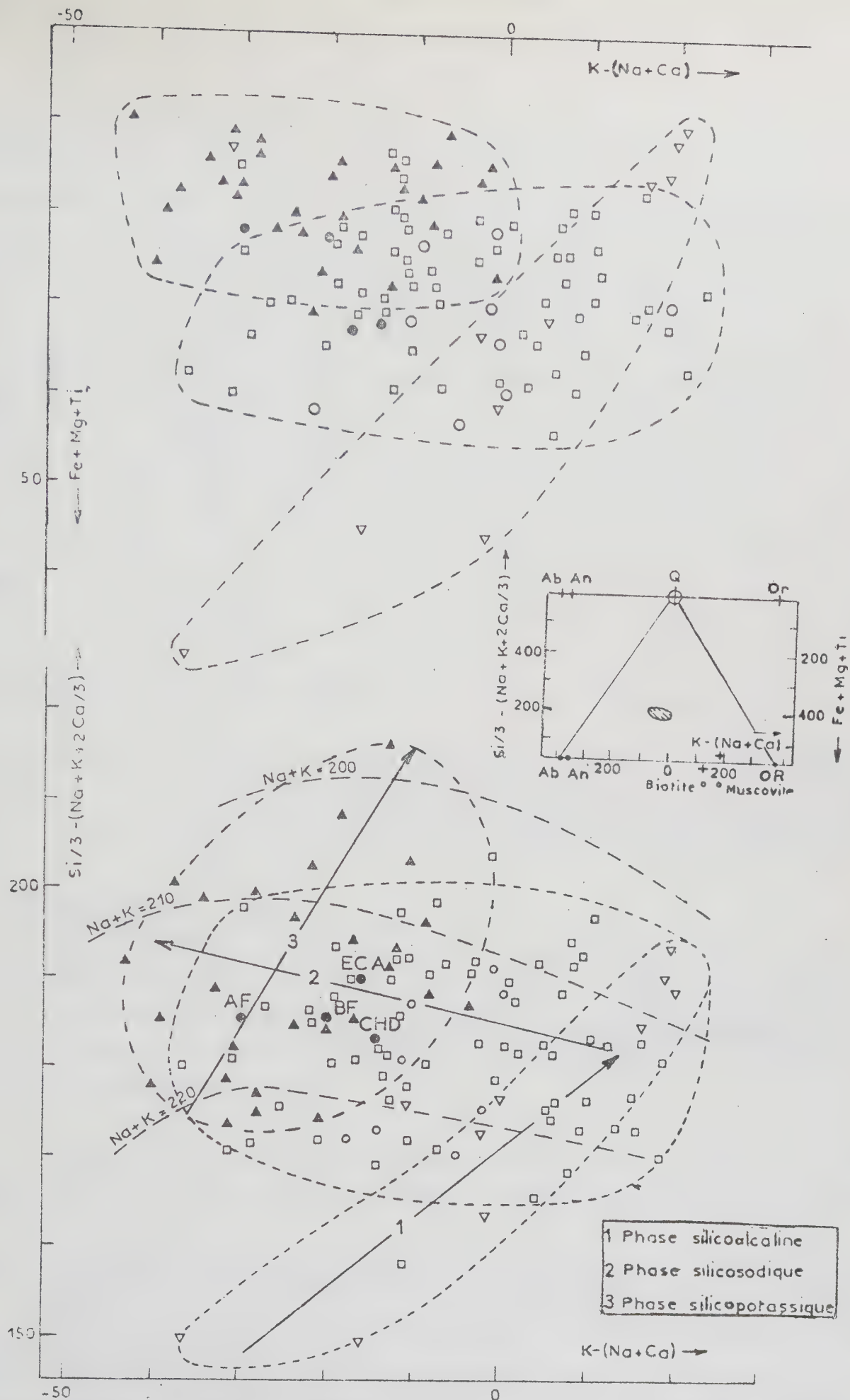
Ces zones présentent des compositions chimiques qui admettent un large domaine de recouvrement. Les axes de ces ellipses traduisent la succession des trois phases chimiques essentielles dont les caractères évolutifs sont résumés dans le tableau 7 :

Phase 1 : Silico-alkaline à tendance potassique

Phase 2 : Silico-sodique à tendance sodique

Phase 3 : Silico-potassique à tendance siliceuse

La 3ème dimension en altitude représente la somme des alcalins qui varie peu dans la phase 2, et décroît de 220 à 200 milliatomes au cours de la 3ème phase.



∇ MICMATITTIQUES BICTITE DOMINANTE $\square$ PORPHYROIDES ORIENTES $\circ$ GRAIN FIN $\blacktriangle$ "ALBITISES" A MUSCOVITE

Fig. 12 : Evolution chimique des granites de Mortagne dans les diagrammes de H. de la ROCHE.
Position des encaissants granitiques des gisements de la Commanderie (AF), la Chapelle
Largeau (BF), de l'Ecarpiere (ECA), du Chardon (CHD).

Domaines pétrographiques	Phases chimiques	Variations des éléments majeurs							
		Si	Al	K	Na	Ca	Fe	Mg	Ti
<u>Zone 1</u>	Silico-alkaline à tendance potassique Si/(Na + K) invariant K/Na → K-(Na + Ca) → Ca →	↗	↘	↗	↗	↘	↘	↘	↘
<u>Zone 2</u>	Silico-sodique à tendance sodique Si/Na + K → K/Na → K-(Na + Ca) → Ca →	↗	↘	↘	↗	↘	↘	↘	↘
<u>Zone 3</u>	Silico-potassique à tendance siliceuse Si/Na + K → K-(Na + Ca) → (Na + K) →	↗	↘	→	↘	↘	↘	↘	↘

Tableau 6 : Variations des éléments majeurs au cours des phases chimiques évolutives du massif de Mortagne. Les zones 1, 2, 3 correspondent à celles présentées sur la figure 8 : 1 - granite hétérogène migmatitique à biotite dominante; 2 - Granites porphyroïdes à biotite et muscovite; 3 - Granite "albitisé" à muscovite dominante.

2° - Diagramme (Si, K, Na, Ca, Fe, Mg, Ti)

Les trois domaines géochimiques précédents apparaissent également différenciés suivant trois images elliptiques dans le système : K-(Na+Ca), (Fe+Mg+Ti).

Ce diagramme (Fig.12) montre la régression du caractère ferromagnésien évalué par la biotite normative (=Fe+Mg+Ti/5,55) au cours des phases à tendance silico-sodique et silicopotassique ultime.

La confrontation des deux diagrammes chimiques avec les lames minces permet de suivre l'évolution minéralogique qui exprime la succession des trois phases chimiques.

Phase 1 : Les proportions modales du quartz et de microcline augmentent aux dépens de celles du plagioclase et de la biotite, c'est la phase précoce de microclinisation.

Phase 2 : La proportion d'albite s'élève au détriment du feldspath potassique, c'est la phase majeure d'albitisation.

Phase 3 : L'augmentation du quartz et de la muscovite modales est compensée par la diminution des fractions modales de biotite et de feldspaths, c'est la phase ultime de la muscovitisation.

Cette évolution s'exprime par les modifications minéralogiques suivantes qui se succèdent suivant les trois phases citées (Tableau 7.)

PHASES CHIMIQUES	PHENOMENES MINERALOGIQUES	VARIATIONS MODALES				
		QUARTZ	FELDSPATH POTASSIQUE	PLAGIO- CLASE	BIOTITE	MUSCOVITE
-1 Silico- Alcaline	Microclinisation et Acidification des Plagioclases	↗	↗	↘	↘	↗
-2 Silico- Sodique	Perthitisation des Orthoclases Albitisation	↗	↘	↗	↘	↗
-3 Silico- Potassique	Chloritisation Muscovitisation de Biotites Quartzification Sericitisation	↗	↘	↘	↘	↗

Tableau 7 : Phénomènes minéralogiques spécifiques des phases chimiques et variations modales des granites à deux micas du Massif de Mortagne.

D - CONCLUSION

Les granites monzonitiques à deux micas de Mortagne constituent un ensemble dont les variations minéralogiques sont le résultat de leur évolution chimique en trois phases :

- silico-alcaline à dominante potassique exprimée par la microclinisation des plagioclases.
- silico-sodique caractérisée par l'albitisation du feldspath potassique, puis chloritisation des biotites après la cristallisation de la tourmaline.
- silico-potassique entraînant la muscovitisation de la biotite, avec quartzification tardive. Cette phase marque une tendance à la greisenisation, phénomène absent dans le massif de Mortagne, mais développé dans les massifs bretons.

Ces résultats doivent être rapprochés de la zonalité géochimique décrite précédemment pour le massif de Saint-Sylvestre dans le Limousin (J. BARBIER, G. RANCHIN 1969b) où il avait pu être distingué un premier axe silico-potas-

sique relatif au granite orienté de la Brême et un axe silico-sodique relatif aux granites à deux micas de Saint-Sylvestre ; au pôle silico-sodique se situe le faciès albitisé de la région de Saint-Goussaud et le microgranite à muscovite de la Jonchère. En plus des deux tendances majeures silicopotassique et silico-sodique dégagées par G. RANCHIN (1970) , il est apparu dans les deux districts uranifères de Vendée et Limousin, un renversement ultime des alcalins en faveur du caractère silico-potassique au sein des granites à quartz-albite-muscovite de ces deux régions. Ce fait argumente leur muscovitisation avortée avant le stade de la greisonisation (G. JURAIN, J.P. RENARD 1970 a).

Il sera important de connaître la position des gisements uranifères dans le cadre de l'évolution chimique et géotectonique du massif ; il est apparu fondamental de ne pas dissocier l'évolution chimique des granites de la métallagénie de l'uranium. (G. JURAIN, J.P. RENARD 1970 b , p. 363).

IV - POSITION DES GISEMENTS ET INDICES URANIFERES DANS LE CADRE DE LA ZONALITE

A - PAR RAPPORT A LA ZONALITE MINERALOGIQUE

Les cartes élaborées à partir des phénomènes de zonalité minéralogique acquièrent un intérêt pratique une fois comparées à la position des principaux indices minéralisés. Par ailleurs, les lames minces provenant d'encaissements miniers complètent les observations sur les variations d'amplitude supérieure à la maille de l'échantillonnage en surface du district minier.

Dans les zones de constellations d'indices, les modifications minéralogiques observées sont essentiellement :

- l'exsolution perthitique et l'albitisation des feldspaths potassiques.
- la chloritisation accompagnée de la muscovitisation des biotites.
- l'hématisation et la séricitisation des plagioclases.
- la quartzification et la séricitisation

La superposition des cartes minéralogiques fait apparaître une correspondance entre les zones à indices et la présence de biotites chloritisées et muscovitisées, et de perthites mâclées "albite" dans le feldspath potassique (Fig. 9 et 10).

Les travaux géologiques et pétrographiques des diverses divisions ainsi que les travaux de nombreux auteurs ont alors permis de mettre en lumière un certain nombre de faits concernant la liaison spatiale indices uranifères - granites à deux micas :

- association à orientation parallèle de muscovite et de biotite du granite de Saint-Léger-sous-Bouvray à laquelle se rattache le district minéralisé de Saint-Symphorien de Marnagne (de GEOFFROY - 1951) ;
- association à orientation parallèle muscovite-biotite dans un sondage à La Crouzille : sondages G.R.P. 385-288 m. - C.R.O. 385-258 m. (J. SARCIA - 1955) ;
- envahissement de la biotite par la muscovite dans la "granulite" des Sagnes (J. et J.A. SARCIA - 1962) ;
- "Le potentiel uranifère d'un granite se mesure au degré de granulitisation et on peut donc en conclure très schématiquement que l'abondance de muscovite est une condition nécessaire mais pas suffisante à la présence d'indices uranifères". (C. PINAUD - 1962) ;
- notion d'évolution de massifs granitiques et lien avec les gisements uranifères (M. MOREAU - 1970) ;
- Démonstration pour la batholite de Mortagne-surSèvre de l'importance des transformations autométamorphiques tardives (deutériques) ayant entraîné la séricitisation des plagioclases mais également la conversion des biotites en muscovite ou en chlorite et la libération de l'uranium (G. JURAIN et J.P. RENARD 1970 b) .

Les liens entre les structures majeures et les indices et gisements uranifères ne sont plus à démontrer. Un certain nombre de faits découlent des observations minéralogiques :

- développement de l'albitisation et de la chloritisation dans les zones à centrale et Sud-Est du massif de Mortagne.
- absence d'indices et de gisements dans les zones à biotite dominante et qui sont dépourvues de phénomènes de muscovitisation secondaire.
- les zones à indices et gisements correspondent aux zones à biotites chloritisées et affectées par la muscovitisation ultime. Ces dernières zones se moulent le mieux sur les bordures tectonisées. Elles épousent de plus la forme du massif des gabbros du Pallet près du gisement du Chardon ; ce fait suggère une interdépendance entre ces transformations minéralogiques et les phénomènes tectoniques affectant les granites à deux micas au cours de leur évolution ultime.

B - PAR RAPPORT AUX PHASES CHIMIQUES DEFINIES A L'ECHELLE DU MASSIF

L'exploitation des données fournies par les échantillonnages de fond n'est pas dissociée de l'étude des domaines géochimiques conduite en surface à l'échelle du massif.

Dans cet esprit, on se propose de figurer les compositions chimiques moyennes des granites encaissants les caisses minéralisées des gisements sur le diagramme (Si, K, Na, Ca) de la figure 12. p 46.

Puis on tentera de situer l'évolution chimico- minéralogique des roches du gisement de l'Ecarpière par rapport aux phases chimiques dont la présentation a été définie à l'échelle du massif.

GISEMENT	ECARPISE				CHAUDON				CHAP.-L.				COMMANDERIE						
	PETROGRAPHIE	GRANITES		CATACLASSE	SIEINITES - TYPES		GRANITES	GNEISS	SCHISTES	GRANITES	GRANITES		APLITE	EPI- SIEINITES					
		n=48 σ	n=32 σ		n=10	n=10					n=52 σ	n=2			n=6	n=9 σ	n=35 σ	n=55 σ	n=4
ANALYTIQUE																			
SiO ₂ 0,70	73,30	0,68	73,70	1,85	63,83	59,70	61,52	72,83	1,07	70,00	65,93	73,08	0,83	72,71	0,72	73,47	0,72	74,30	62,75
Al ₂ O ₃ 0,30	14,01	0,44	13,61	0,91	19,01	21,50	19,40	14,40	0,54	14,45	14,07	14,84	0,57	14,62	0,36	14,70	0,43	14,75	19,40
Fe ₂ O ₃ 0,20	1,63	0,27	1,53	0,47	2,30	2,64	1,98	1,58	0,39	2,32	4,97	1,32	0,19	1,30	0,27	1,22	0,23	0,65	2,58
MnO 0,015	0,03	0,007	0,03	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,008	0,03	0,09	0,03	0,03	0,04	0,01	0,05	0,003	0,03	0,06
MgO 0,30	0,50	0,008	0,54	0,14	0,62	1,02	0,96	0,45	0,14	1,03	2,17	0,26	0,11	0,38	0,11	0,009	0,05	0	0,83
CaO 0,25	0,70	0,18	0,62	0,17	0,64	1,31	0,96	0,72	0,19	1,06	2,08	0,72	0,18	0,56	0,21	0,70	0,26	0,25	1,12
Na ₂ O 0,30	3,17	0,20	2,18	0,99	6,58	4,14	3,38	3,20	0,28	3,14	2,15	3,25	0,24	3,38	0,11	3,43	0,17	4,52	1,35
K ₂ O 0,15	4,79	0,17	4,80	0,57	4,88	5,94	6,75	5,01	0,38	4,23	4,03	4,85	0,26	4,93	0,21	4,69	0,27	3,65	7,20
TiO ₂ 0,07	0,24	0,06	0,25	0,07	0,30	0,42	0,38	0,21	0,08	0,36	0,71	0,17	0,04	0,15	0,04	0,13	0,06	0	0,45
P.P. 0,12	1,27	0,16	2,21	0,65	1,36	3,20	3,90	1,29	0,22	1,73	3,15	1,26	0,13	1,36	0,08	1,26	0,20	1,11	3,02
K/Na	0,99		1,46		0,49	0,95	1,30	1,02		2,89	1,25	0,98		0,95		0,90		0,52	3,50
K -(Na+Ca)	-15		21		-120	-30	16	-11		-30	-21	-15		-16		-24		-74	90
Quartz colorés	34,6		41,5		5,4	9,8	13,5	34,0		33,0	31,5	34,5		33,2		34,0		40,6	25,0
feldspaths	6,6		6,1		8,5	11,5	10,0	6,1		10,6	22,5	4,3		4,5		3,0		1,8	10,5
	58,8		52,3		86,1	78,7	76,5	59,9		56,4	46,0	61,2		62,3		63,0		57,6	64,5

Tableau 8 - Compositions chimiques des principaux types pétrographiques dans les caisses filoniennes des gisements du Massif de Mortagne. Norme minéralogique d'après les paramètres de H. de la ROCHE.

Les échantillonnages de granites prélevés à la maille de 10 m dans les travers bancs miniers des quatre principaux gisements : Le Chardon (CHD), l'Ecarpière (ECA), la Commanderie (AF) , et la Chapelle Largeau (BF), ont permis d'aborder différents aspects complémentaires :

- Faibles variations des éléments majeurs en granite sain
- Influence de la cataclase sur leurs distributions
- Représentativité d'échantillonnages en travers bancs et en sondage sous l'angle de la comparaison statistique des compositions moyennes des encaissants miniers
- Les compositions chimiques moyennes, reportées dans le tableau 8 pour chacun des encaissants miniers font apparaître que les écarts types des moyennes d'éléments majeurs des granites sains ne dépassent pas les erreurs analytiques.

Le report des points figuratifs de ces compositions moyennes de granites sains dans le diagramme général de la figure 12 montre qu'elles appartiennent au domaine chimique des granites ayant subi de manière importante la phase 2 de sodification. L'exemple de l'Ecarpière montrera ultérieurement comment la phase silicopotassique ultime se manifeste au dessus de ce caractère général sodique (Fig.14).

La dérive due à l'altération supergène des échantillons de surface par rapport à ceux du fond est minime; en effet, les pertes au feu moyennes des échantillonnages "fond" et "surface" ne diffèrent que de 0, 15 % (tableaux 4 et 8). Ceci correspond au départ de 0,15 % de Na_2O variation qui n'entraîne qu'une dérive de l'ordre de 5 millièmes pour le paramètre $K - (\text{Na}+\text{Ca})$.

- Le problème de l'influence de la cataclase sur la distribution des éléments majeurs a été abordé par la comparaison statistique des granites sains (ECA1) et cataclasés (ECA2) de l'Ecarpière (Tableau 9=).

SiO_2	1	Al_2O_3	1	Fe_2O_3	1
2	1,40	2	2,36	2	1,11
MgO	1	CaO	1	Na_2O	1
2	1,52	2	1,90	2	4,78
K_2O	1	TiO_2	1	P.F.	1
2	0,10	2	0,67	2	8,1

Tableau 9 :

Valeurs prises par la variable statistique "t" dans le test de comparaison des granites sains (1) avec les granites cataclasés (2) de l'Ecarpière (tableau 9). Les valeurs de t supérieures à $t(0,01) = 2,58$ sont encadrées.

Les variations significatives qui interviennent au cours de la cataclase sont le départ de Na_2O et la croissance de la perte au feu ; ceci se traduit par la séricitisation des plagioclases et la disparition des tâches perthitiques dans le feldspath potassique.

Par ailleurs, les écarts types des éléments SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O , K_2O sont élevés dans les granites cataclasés, traduisant une recombinaison de ces éléments avec néoformations fissurales d'albite, hématite et séricite.

Les éléments qui demeurent stables au cours de la cataclase sont CaO et TiO_2 ; au cours de la chloritisation ils donnent naissance au leucoxène.

Contrairement à une opinion émise par P. BAILLET (1964) la faible dispersion de CaO ne peut être interprétée comme le produit d'une homogénéisation corrélative à la cataclase puisque la dispersion de cet élément n'est pas plus élevée dans les granites non cataclasés. Le bon degré de représentativité d'une zone saine profonde, soit échantillonnée en sondage vertical, soit en travers bancs miniers horizontaux, est confirmé à la Commanderie ; les campagnes AF et GRB ont donné des compositions chimiques presque identiques (Tableau 9). La comparaison statistique des moyennes des éléments majeurs (tableau 11) ne montre pas de différences significatives, sauf une légère croissance de la silice et une diminution de K_2O en mine par rapport au sondage voisin ; ces modifications sont, semble t'il, en liaison avec une chloritisation des biotites dans les caisses minéralisées

SiO_2	GRB	Al_2O_3	GRB	Fe_2O_3	GRB	MgO	GRB
AF	[4,87]	AF	1,31	AF	0,75	AF	0,50
MgO	GRB	CaO	GRB	Na_2O	GRB	K_2O	GRB
AF	1,30	AF	1,40	AF	0,80	AF	2,50
		TiO_2	GRB	P.F.	GRB		
		AF	1,12	AF	0,60		

Tableau 10 : Test de comparaison des moyennes des teneurs en éléments majeurs des granites du Grand Bois (GRB) et de la Commanderie (AF).
Valeurs prises par la variable statistique t.

Il en résulte une certaine homogénéité des éléments majeurs à une échelle hectométrique (travers bancs de 500 m). Ce mode d'échantillonnage à maille horizontale régulière est équivalent pour la Commanderie à celui réalisé par un sondage vertical implanté et exécuté en carottage continu.

La comparaison statistique des moyennes géochimiques révèle de sensibles différences entre les compositions des quatre encaissants miniers. On tire des tableaux de valeurs de t (tableau 11) les différences encadrées significatives pour les éléments majeurs classés ci-dessous par moyennes croissantes. Le signe "<" placé entre deux symboles consécutifs d'échantillonnages (AF, BF, ECA, CHD) indique une différence significative pour l'élément majeur considéré au seuil choisi ($\alpha = 0,95$).

SiO_2	: CHD = BF = ECA < AF
Al_2O_3	: ECA < CHD < AF = BF
Fe_2O_3	: AF < BF < CHD = ECA
MgO	: AF < BF < CHD = ECA
CaO	: AF = ECA = BF = CHD
Na_2O	: ECA = CHD = BF < AF
K_2O	: AF < ECA = BF < CHD
TiO_2	: AF < BF < CHD = ECA

AF = Commanderie
BF = Chapelle Largeau
ECA = Ecarpière
CHD = Chardon

Les différences de composition chimique qui apparaissent significatives concernent le caractère silicosodique et alumineux de l'encaissant de la Commanderie (albite, quartz, et muscovite abondants, biotite rare), par rapport à l'Ecarpière et au Chardon qui contiennent un peu plus de Fe_2O_3 et de K_2O . Ces différences minimes peuvent être dues à des variations dans les proportions de biotite et de muscovite.

L'élément majeur CaO est le seul invariant pour les quatre encaissants miniers (teneur en CaO = 0,70 %). Compte tenu des teneurs en K_2O et Na_2O , les granites des encaissants miniers sont caractérisés par une teneur en anorthite virtuelle, comprise entre 10 et 15 %, une somme d'alcalins voisine de 206 milliatomes et un rapport K/Na voisin de l'unité.

L'aspect statique de ces données ne doit pas faire perdre le point de vue évolutif du chimisme de ces granites qui constitue le second aspect abordé dans l'étude de l'encaissant minier de l'Ecarpière.

ENCAISSANTS GRANITIQUES DES GISEMENTS

F : Commanderie

BF : Chapelle Largeau

ECA : Ecarpière

CHD : Chardon

BF	2,32			Si O ₂
CHD	<u>3,75</u>	1,26		
ECA	1,15	1,17	2,51	
	AF	BF	CHD	

BF	<u>4,01</u>			Na ₂ O
CHD	<u>5,10</u>	0,88		
ECA	<u>6,95</u>	1,68	0,69	
	AF	BF	CHD	

BF	1,31			Al ₂ O ₃
CHD	<u>3,26</u>	<u>3,38</u>		
ECA	<u>8,13</u>	<u>7,34</u>	<u>3,90</u>	
	AF	BF	CHD	

BF	<u>3,00</u>			K ₂ O
CHD	<u>5,26</u>	2,49		
ECA	<u>2,62</u>	1,06	<u>3,74</u>	
	AF	BF	CHD	

BF	2,28			Fe ₂ O ₃
CHD	<u>5,92</u>	<u>4,25</u>		
ECA	<u>8,30</u>	<u>6,16</u>	0,70	
	AF	BF	CHD	

BF	<u>3,87</u>			Ti O ₂
CHD	<u>5,77</u>	<u>3,17</u>		
ECA	<u>2,00</u>	<u>5,46</u>	2,34	
	AF	BF	CHD	

BF	0,45			CaO
CHD	0,40	0,08		
ECA	0,02	0,49	0,43	
	AF	BF	CHD	

BF	0,84			P.F.
CHD	1,45	0,79		
ECA	1,03	0,24	0,56	
	AF	BF	CHD	

Tableau 11 : Signification statistique des différences observées entre les compositions des granites sains des campagnes FOND.

Le test de signification des différences consiste à calculer la variable $t = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$ (m_1, m_2 : moyenne statistique, σ_1, σ_2 : écart type, n_1, n_2 : nombre d'échantillons) (MORICE et CHARTIER - 1954), si la valeur de t est supérieure à l'intervalle d'acceptation donnée par la loi normale réduite en fonction du seuil de probabilité choisie (2,58 au seuil 0,99; 1,96 au seuil 0,95), les différences observées sont significatives au seuil correspondant; les différences significatives sont encadrées.

C - EVOLUTION DES GRANITES ET SYENITES DE L'ECARPIERE

1° - Paragenèses minéralogiques

L'évolution granitique décrite dans les roches à l'échelle du massif se retrouve encore amplifiée à l'échelle minière : les granites et syénites du gisement de l'Ecarpière (SANSELE, ZEGERS J.C. 1957 ; GERSTNER A. et al. 1962) ont subi à proximité des filons minéralisés une chloritisation des biotites accompagnée de l'hématitisation des plagioclases, de la muscovitisation des biotites avec rubéfaction des roches (Quartiers de Braudière, Ecarpière, Hautegente), une silification et séricitisation associées à une bréchification.

Dans les travaux miniers de l'Ecarpière, l'observation des syénites et granites encaissants permet de distinguer (Fig. 13 - Tableau 12)

- 1 - Des roches peu "altérées" à biotite-chlorite (Quartier Braudière)
- 2 - Des roches cataclasées à chlorite-muscovite (Hautegente-Ecarpière)
- 3 - Des brèches "hématisées" à muscovite (Quartier Hautegente)

Les paragenèses minéralogiques évoluent parallèlement dans les syénites et granites dans les conditions d'une emprise tectonique croissante :

TYPES DE GRANITES	1	2	3
Uraninite.....			Pyrite et Pechblende
Biotite.....	8 %		
--- : Chlorite-Fluorine			
Oligoclase-Albite.....	23 %		Hématite-Séricite 5 %
Microcline Perthite.....	23 % + + +		Séricite 25 %
Muscovite.....	6 %		Hématite calcite 20 %
Quartz.....	40 %		Calcédoine Fluorine 50 %
TYPES DE SYENITES	1'	2'	3'
Zircon-Monazite-Apatite.....		Leucoxène	Pyrite et Pechblende
Biotite-Ripidolite	6 %	Fluorine-Pyrite	
Oligoclase-Albite.....	82 %		Séricite-hématite 40 %
Microcline.....	12 %		35 %
Muscovite.....			Calcite-Hématite 7 %
Quartz.....			Calcédoine Fluorine 18 %

Tableau 12 : Evolution des granites et syénites de l'Ecarpière d'après les observations microscopiques. Les analyses modales sont données pour les termes pétrographiques extrêmes.

MINE DE L'ECARPIERE - VENDEE
SITUATION DES PRELEVEMENTS C.E.A. - C.R.R.
(D'APRES PLAN MINIER C.E.A. DU 6-4-69)

GRANITE

SYENITE

FAILLE

ROCHE PRELEVEE
Légende fig. 14

N

0

100

200

300

400m

The figure is a geological map of the L'Écarpière mine area in Vendée. It shows the distribution of rock samples (numbered 106 to 137) and geological features. Key elements include:

- Geological Features:**
 - CONTACT DU GRANITE:** Three locations where granite is in contact with other rocks.
 - BRAUDIERE:** A fault line running horizontally across the middle of the map.
 - LES FORGES:** A fault line running diagonally from the top left to the middle right.
 - FAILLE F1:** A fault line running diagonally from the bottom left to the middle right.
- Rock Samples:**
 - NIVEAU 70:** Samples 119, 120, 121, 122, 123, 124.
 - NIVEAU 115:** Samples 116, 117, 118, 119.
 - NIVEAU 160:** Samples 136, 137.
 - NIVEAU 205:** Samples 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115.
- Scale and Orientation:**
 - A scale bar from 0 to 400m is located in the top left.
 - A north arrow (N) is located in the top left.
 - A detailed inset map in the bottom right shows a 10m scale and a 2m scale for a specific area.

Fig. 13 - Situation des roches prélevées dans le gisement de l'Ecarpière

- 57 -

Les syénites contiennent des minéraux reliques (biotite, sphène) aux dépens desquels se forment la chlorite interstratifiée avec la biotite, le leucoxène (type 1), du ripidolite, de la fluorine (type 2) enfin de la muscovite et des oxydes de fer et de titane, de la séricite et du quartz géodique (type 3); les brèches sont sillonnées de filonnets de calcédoine avec de la fluorine violette.

Les roches de types 1 et 2 sont caractérisées par un développement de muscovite et de quartz aux dépens des feldspaths et par la disparition des perthites au cours de la fracturation du microcline. Dans le type 2, la biotite est entièrement chloritisée puis pseudomorphosée en muscovite; le ripidolite est séricitisé, tandis que dans le type 3, l'oligoclase est envahi par l'hématite provenant de la conversion des biotites en muscovite avec néoformation de pyrite, calcite. L'albite, l'adulaire et la fluorine subsistent.

2° - Evolution chimique des granites et des syénites

Les roches de l'Ecarpière présentent des compositions chimiques de syénites quartziques et de granites monzonitiques ; ces derniers ont une composition analogue à celle des granites à biotite de la Renaudière (Tableau 16, p.67).

Les granites et les syénites ont subi une évolution chimique parallèle à caractère potassique et siliceux (Apport d'OH et de potassium, départ de sodium) qui s'exprime par la muscovitisation (Fig.14) (G. JURAIN et J.P. RENARD 1970). La perte en sodium tant dans les syénites que dans les granites, est compensée par un apport d'ions oxhydriles ; cette évolution chimique ne peut être confondue avec une altération de type supergène, elle s'accompagne en effet d'une muscovitisation et d'une séricitisation endogène.

L'évolution chimique qui vient d'être décrite est progressive ; par contre il se produit une rupture de l'évolution silico-potassique dans les brèches quartzo-phylliteuses dont la composition est voisine de celle de greisens ; leur axe chimique évolutif est celui de la silicification.

Il est important de souligner le recouvrement entre l'axe de l'évolution silicopotassique des granites de l'Ecarpière et celui de la phase chimique ultime qui a été dégagée à l'échelle du massif dans les granites "albitisés" à muscovite dominante (Fig.12) et domaine tramé dans la figure 14.

3° - Discussion : Origine des syénites de l'Ecarpière

Plusieurs hypothèses ont été émises quant à l'origine des corps syénitiques que les prospections du C.E.A. ont reconnus en sondage et travaux miniers sur 6 km environ, parallèlement au contact du batholite :

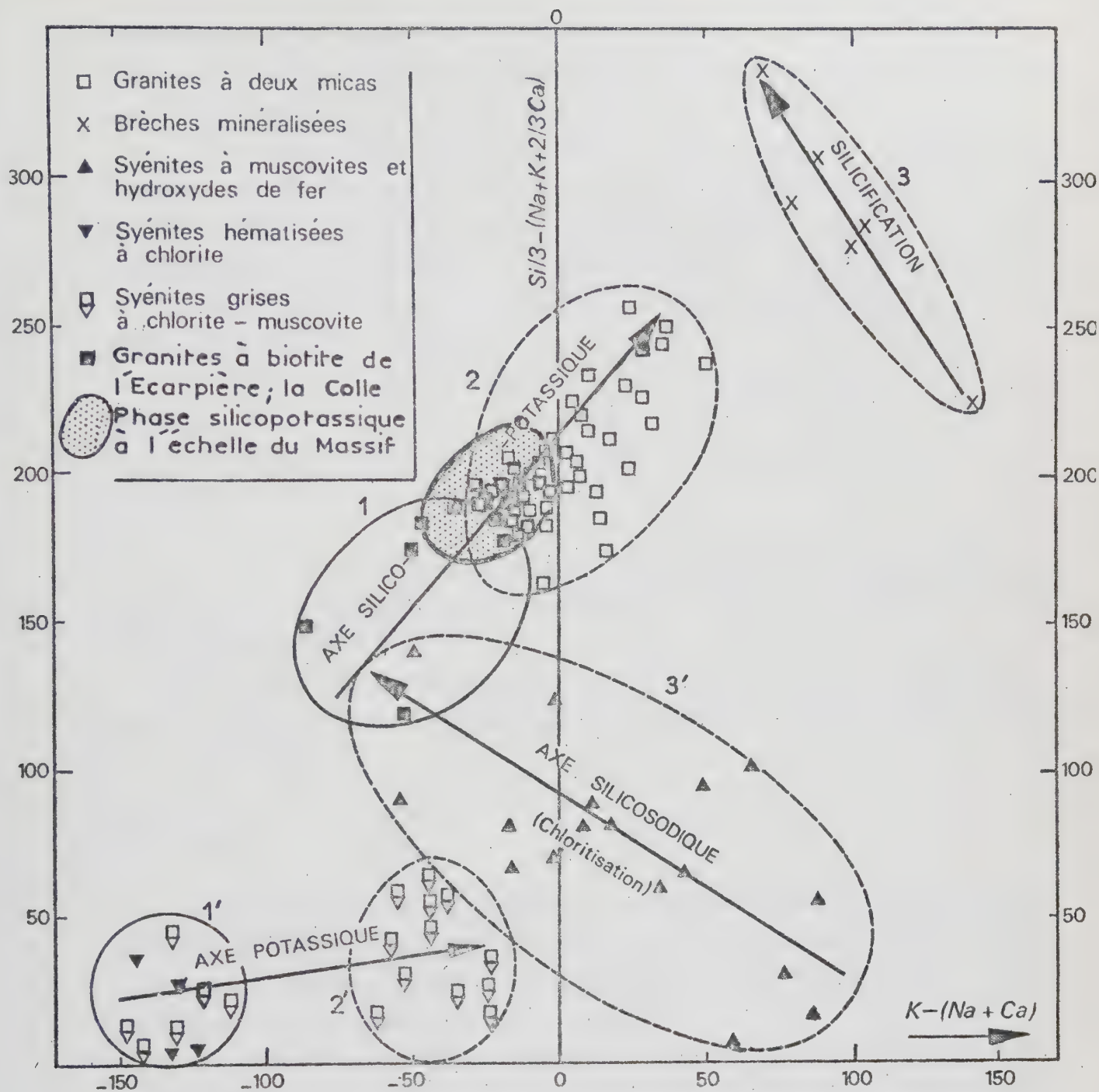


Fig. 14 : Evolution comparée des granites et syénites de la zone tectonique de l'Ecarpière dans le diagramme de H. de la ROCHE (1964)

La localisation des roches est donnée sur la figure 13.

- Différenciation magmatique
- Différenciation dynamo-métamorphique
- Assimilation incomplète par le granite à deux micas du granite de la Colle (Massif de la Renaudière), hypothèse formulée par A. GERSTNER (1962)

leur mode de gisement en panneaux endomorphiques à contours irréguliers et francs exclut l'hypothèse d'une différenciation magmatique de bordure.

La seconde hypothèse ne résiste pas devant le fait que les granites et syénites ont évolué parallèlement au cours de la microcataclase et de plus on note leur absence plus à l'Est dans le gisement du Chardon ; par contre, le critère géométrique de l'alignement des corps syénitiques en direction du massif de la Colle-Renaudière ne va pas à l'encontre de la troisième hypothèse qui est renforcée par les faits suivants :

- Association syénite-granite à biotite de type La Renaudière à l'Ecarpière.
- Compositions et évolutions chimiques analogues entre les granites de l'Ecarpière et de la Renaudière.

Par ailleurs, on n'observe pas de déquartzification dans les syénites contrairement aux épisyénites non minéralisées du Limousin et qui ont été étudiées par J. LEROY (1969) .

Ces roches peuvent donc être assimilées à des enclaves calcosodiques dans un granite à biotite repris ultérieurement dans la granitisation syntectonique de type "Mortagne".

D - CONCLUSION

Les encaissants granitiques des quatre principaux gisements uranifères du massif de Mortagne présentent des compositions chimiques qui les situent dans le domaine de recouvrement des phases silicosodique et silicopotassique dont la définition a été présentée à l'échelle du massif.

Ils ont subi la phase majeure de l'albitisation et la phase ultime de la chloritisation et muscovitisation des biotites. Une rupture de l'évolution silicopotassique s'est produite dans les brèches des granites et syénites de l'Ecarpière : la bréchification s'y accompagne d'une silicification, séricitisation et hématisation intenses.

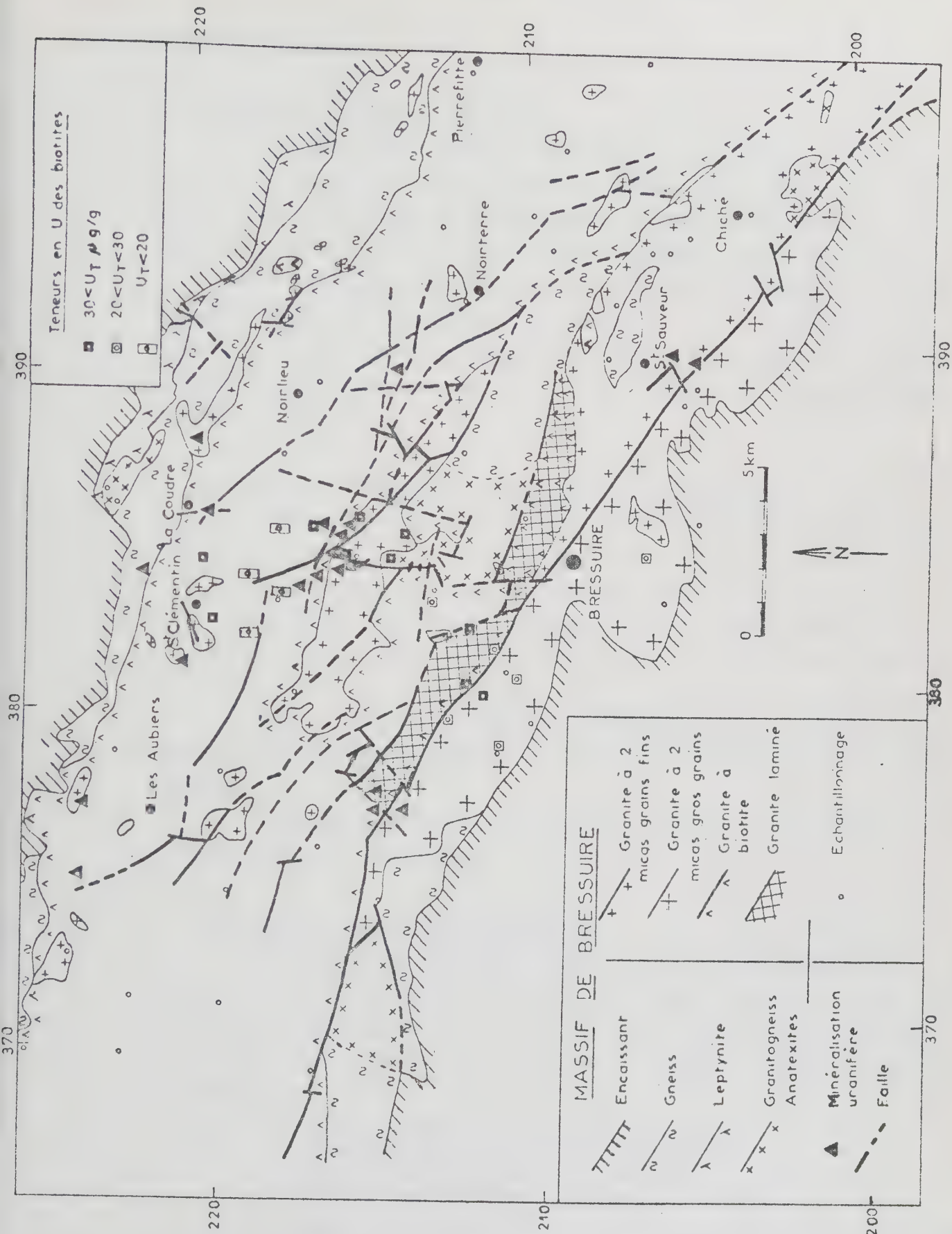


Fig. 15 : ZONALITE PETROGRAPHIQUE DU MASSIF DE BRESSUIRE D'APRES LA CARTE DU C.E.A. (TENEURS EN URANIUM DES BIOTITES).

V - COMPARAISON ENTRE LES EVOLUTIONS DES GRANITES DE MORTAGNE,
DE L'ENCAISSANT NORD ET DE BRESSUIRE

A - MASSIF DE BRESSUIRE

1° - Rappel de la position géologique

Le massif de Bressuire s'étend du Nord de Châtillon au NE de Parthenay. Il perce le Briovérien au Nord et au Sud, s'ennoye sur la couverture jurassique à l'Est mais il est recoupé en biseau dans sa partie occidentale par le massif de Mortagne le long de la faille du sillon de Bretagne orientée NO-SE (de la vallée de l'Ouin à Châtillon-sur-Sèvre). Dans sa partie SE, sa bordure migmatitique est recoupée par la lame syntectonique de Parthenay. Bien que présentant un certain nombre d'indices uranifères, le massif de Bressuire ne recèle aucun gisement uranifère, ce qui justifie une étude comparée avec celle du massif de Mortagne. (Fig. 15)

2° - Caractères minéralogiques et chimiques de ces granites.

Trois principaux types de granites s'individualisent dans le massif de Bressuire :

- granite à deux micas de Bressuire (Pl. I Fig. 2)
- granite à deux micas de Saint-Clémentin (Pl. I Fig. 3)
- granite à biotite de Moulins. (Pl. I Fig. 4) Les Aubiers.

Les caractères minéralogiques et chimiques de ces granites, réunis à partir d'échantillons de surface et de sondages, sont résumés sur le tableau 13 (annexe).

L'examen comparatif des granites de Bressuire et de Mortagne a permis de souligner les faits suivants.

a) Granites à deux micas de Bressuire

Ce massif très hétérogène comprend dans sa partie méridionale, la bande syntectonique de granite à deux micas de Bressuire, et dans sa partie septentrionale des apophyses de granites à grain fin à deux micas ; les granites à deux micas à grain moyen avec grandes lames de muscovite différent de ceux de Mortagne par :

- l'absence de cristallisation syncinématique,
- la dominance du plagioclase sur le microcline,
- l'absence d'albitisation du microcline,
- un faible degré de muscovitisation des biotites.

Par contre, on y observe parfois une forte chloritisation des biotites. La chimie révèle un granite monzonitique (H. DHOSTE, 1961) à caractère calcosodique et moins potassique que ceux de Mortagne, comme en témoigne la moindre

MASSIFS	MORTAGNE				DRESSUIRE			
SONDAGES	CTR.	GRB.		BRESS.		CLEM.		
ELEMENTS MAJEURS σ Analytique	N = 5	N = 35	σ	N = 43	σ	N = 33	N = 21	
Si O ₂ 0,70	70,84	72,71	0,72	72,55	0,59	74,64	71,33	
Al ₂ O ₃ 0,30	14,90	14,89	0,36	14,80	0,39	14,25	15,06	
Fe ₂ O ₃ 0,20	1,92	1,31	0,27	1,39	0,11	0,62	1,83	
Mn O 0,015	0,02	0,04	0,01			0,02	0,04	
Mg O 0,30	0,64	0,30	0,11	0,53	0,04	00,20	0,72	
Ca O 0,25	0,89	0,56	0,21	0,70	0,22	0,58	1,38	
Na ₂ O 0,20	2,88	3,34	0,10	3,65	0,09	3,34	3,64	
K ₂ O 0,15	5,10	4,95	0,21	4,46	0,13	4,98	4,55	
Ti O ₂ 0,07	0,36	0,16	0,04	0,17	0,03	0,21	0,32	
P.F. 0,12	1,34	1,31	0,08	1,00	0,12	0,98	1,13	
K - (Na + Ca)	- 2	- 11		- 35		- 11	- 45	
U _T μ g/g	16,0	20,8		7,3		10,2	7,4	
σ/m		0,07		0,20		0,18	0,17	
U _F	n.d.	11,1		4,6		6,5	3,6	
MODE								
QUARTZ	30,4	31,3		* 33,3		34,0	20,9	
FELDSPATH K	30,4	28,0		22,6		28,5	26,7	
PLAGIOCLASE	29,1	30,2		31,6		30,5	40,5	
ANORTHITE	26 - 10	13 - 7		25 - 20		15 - 10	32 - 20	
BIOTITE	6,1	3,2		4,7		2,6	11,9	
MUSCOVITE	4,0	7,3		6,3		4,4	traces	
MINERAUX ACCESSOIRES	apatite, zircon, uraninite, pyrite, tourmaline, monazite, chlorite, fluorine.			zircons, monazite, apatite, calcite.		uraninite, chlorite, calcite.		
MYRMEXITES	bourgeons	absentes		bourgeons rares		absentes	fréquentes	
MICROCLINISATION DU PLAGIOCLASE	fréquente	antiperthite		fréquente		auréolaire	absente	
PERTHITES	fréquentes taches d'albite			rares et fusiformes		rares	absentes	
ALBITISATION ET MUSCOVITISATION	légère	développée		faible		muscovite	absentes	
CHLORITISATION	périphérique	fréquente		fréquente		développée		
MUSCOVITISATION DES BIOTITES	fréquente	développée		légère		légère	absente	
CATACLASE	rare	fréquente		absentes		faible	légère	

Tableau 13 : Compositions chimiques et minéralogiques des principaux types de granites vendéens.

* d'après M. DHOSTE (1961)

σ = Ecart types. N = Nombre d'échantillons. μ = Moyenne

Sondages : C.T.R.
G.R.B.
DRESS.
CLEM.

Granite porphyroïde à biotite dominante du Cottereau
Granite "albitisé" à muscovite dominante de la Commanderie
Granite à deux micas de Dressuire
Granite à deux micas et à biotite seule de St Clémentin.

valeur du paramètre K-(Na + Ca) (tableau 13)

b) Granite à grain fin de St-Clémentin

L'ossature du massif de Bressuire, constituée par le granite à biotite de Moulins - Les Aubiers est recoupée dans les zones tectonisées, par des bandes de granite à deux micas à grain fin ; l'une d'entre elles située près de la localité de St-Clémentin présente une tendance aplitique.

Par rapport à la composition des granites de Mortagne, le granite de St-Clémentin est plus quartzeux, moins biotitique et leur ressemble par son rapport Feldspath potassique/Plagioclase. L'évolution minéralogique consiste en une chloritisation des biotites et un développement de muscovite en lames poecilitiques. On retrouverait ici une évolution ultime comparable à la phase ultime de muscovitisation décrite dans le massif de Mortagne.

La composition chimique est celle des granites monzonitiques de Mortagne pour la répartition de Na_2O , K_2O , CaO ; en revanche, ils en diffèrent par un rapport silice/ferromagnésiens plus élevé (tendance aplitique).

c) granite à biotite de Moulins

Le tableau permet une comparaison des caractères minéralogiques des séquences "Mortagne" et Moulins.

L'individualité des granites de Moulins réside dans leur tendance granodioritique qui se traduit par une proportion de feldspaths calcosodiques supérieure à celle des feldspaths potassiques comme l'ont montré les analyses modales faites au compteur de points (tableau 13).

MASSIFS GRANITIQUEs MINÉRALOGIE	MORTAGNE	MOULINS
TAILLE DU GRAIN	5 - 10 mm orienté parfois porphyroïde	4 mm fissuré tendance porphyroïde
QUARTZ	étiré en lanières abondant	globuleux et cataclaté
FELDSPATH POTASSIQUE	orthose perthitique et <u>microcline</u> dominant parfois le <u>plagioclase</u>	orthose parfois perthitique et microcline, <u>moins</u> abondants que le <u>plagioclase</u>
PLAGIOCLASE	Oligoclase et albite (An 32 - 2 %)	Oligoclase séricitisé (An 33-25%) zoné avec myrmékites
BIOTITE	lamelles orientées	lamelles non orientées parfois plissotées et chloritisées
MUSCOVITE	plus abondante que la biotite	pratiquement absente

Tableau 14 : Comparaison des caractères pétrographiques des granites de Mortagne et de Moulins d'après A. GERSTNER et al (1962).

Le pôle granodioritique est représenté par le granite à biotite à gros grain (Pl 1 Fig.6) de la bande médiane (Fig.15) orientée E.O. et passant par Noireterre, Noirlieu, les Aubiers.

Le sondage implanté à St-Clémentin rencontre dans la partie inférieure le granite à biotite de Moulins étudié entre les localités de Moulins et de la Coudre. Son caractère calcosodique est marqué par l'abondance de l'oligoclase basique (An 35-25 %) séricitisé et accompagné de myrmékites. La biotite est abondante (quantité modale égale à 12 %).

L'évolution minéralogique consiste en une destabilisation des biotites pseudomorphosées en agrégat de calcite, chlorite, séricite et oxydes de fer et une saussuritisation des plagioclases qui se traduit par la néoformation d'albite et de calcite.

Sur le plan chimique la tendance granodioritique se marque par une valeur faible du paramètre $K - (Na + Ca)$ et il est apparu que ce caractère est conservé dans le granite de Bressuire pourtant moins calcoferro-magnésien.

3° - Evolution chimique du massif de Bressuire. Comparaison avec le massif de Mortagne.

Les granites du massif de Bressuire présentent deux types d'évolution chimique (Fig. 16).

- Les granites à biotite de Moulins admettent un axe à tendance silico-alcaline à tendance potassique qui s'exprime minéralogiquement par le développement poecilitique du microcline et du quartz, la séricitisation de l'oligoclase et l'apparition de muscovite dans le microcline. Dans les termes de transition avec le granite à deux micas de Bressuire, la muscovite apparaît avec le développement du microcline (tendance porphyroïde des granites de transition). Cette évolution est comparable à celle que nous avons décrite dans les granites migmatitiques à biotite dominante de la bordure Sud du Massif de Mortagne.

- Les granites à deux micas de Bressuire sont caractérisés par un axe à tendance silicosodique, expression de l'acidification du plagioclase (oligoclase acide) et de la chloritisation des biotites. Ils s'apparentent donc aux granites porphyroïdes à deux micas du Massif de Mortagne.

La disposition des axes évolutifs laisserait penser à une filiation géochimique des granites à deux micas à partir des granites à biotite, mais la présence de la faille de Bressuire ne permet pas de l'affirmer.

Comme l'ont fait entrevoir les caractères minéralogiques et chimiques l'évolution des granites à deux micas de Bressuire se montre plus simple, et moins poussée que celle des granites de Mortagne; il est nécessaire de rappeler que ces derniers présentent trois axes d'évolution en rapport avec les phases de microclinisation, d'albitisation et de muscovitisation.

Enfin, la position des axes chimiques du massif de Bressuire est décalée vers le domaine calcosodique du diagramme tandis que ceux de Mortagne intéressent le domaine monzonitique à tendance potassique.

Cette différence chimique fondamentale a fait l'objet d'un récent essai interprétatif (G. JURAIN, J.P. RENARD 1970).

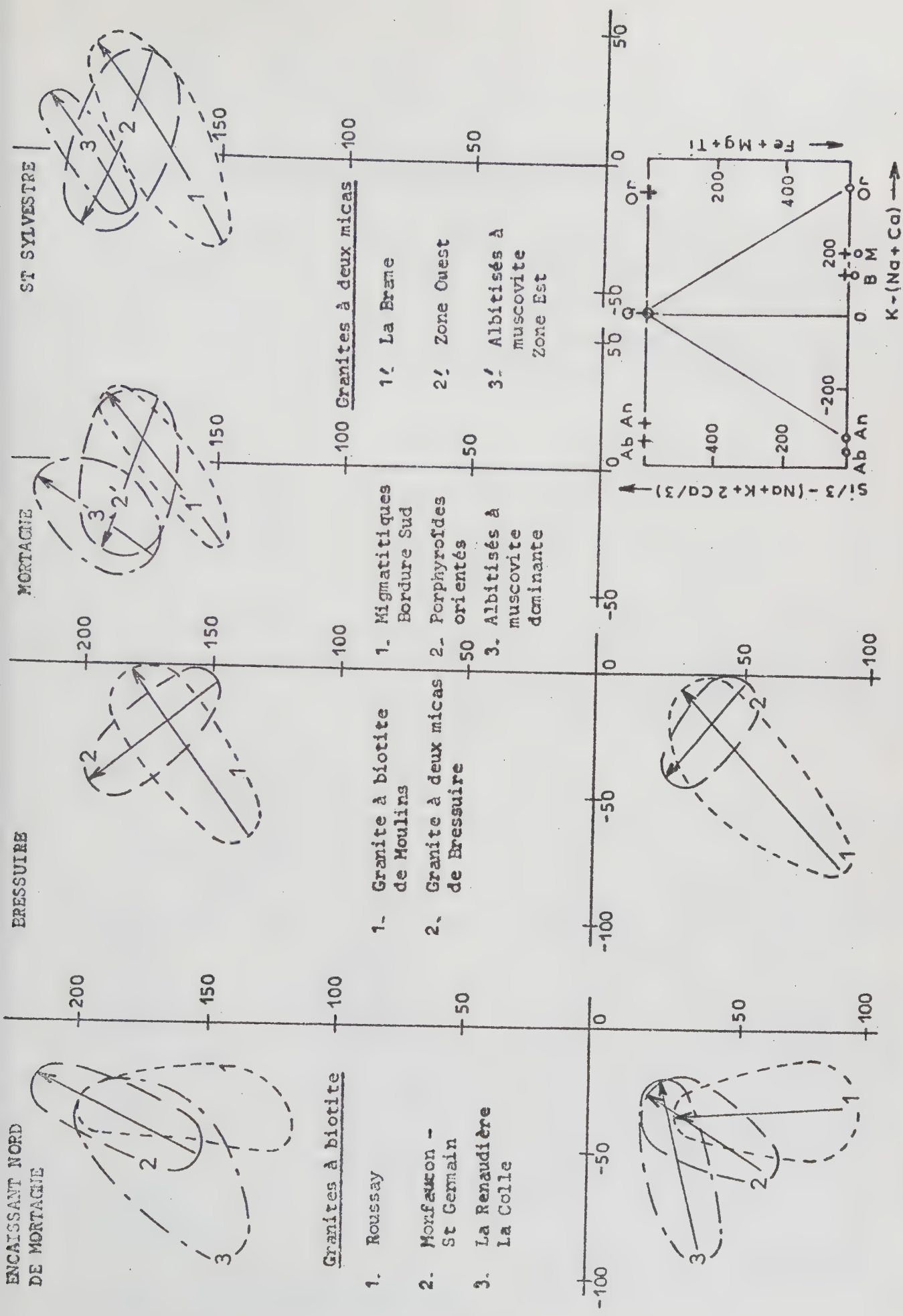


Fig. 16 : Comparaison des axes chimiques d'évolution des massifs : Mortagne et son encaissant Nord, Bressuire, (Vendée) et du massif de St Sylvestre (Limousin).

Le parallélisme des axes silico-potassique des granites fondamentaux à sillimanite et deux micas - (Mortagne) - ou à biotite - (Moulins) - laisse entrevoir le rôle de l'héritage géochimique dans l'évolution chimique ultérieure, hypothèse étayée par la suite en géochimie de l'uranium (troisième chapitre).

B - GRANITES A BIOTITE DE L'ENCAISSANT NORD DE MORTAGNE

L'étude des types de granites à biotite, destinée à individualiser l'évolution du massif de Mortagne par rapport à son encaissant, concerne également la composition et l'évolution de ceux qui sont situés au Nord de Mortagne dans la région de la Romagne, cartographiée par MICHAUD (1964) . Les travaux de terrain ont conduit à la distinction des massifs de granites à biotite suivants (Fig. 6) :

- Roussay : Massif "nigmatitique" à bordures tectonisées.
- St Germain : Massif à bords circonscrits ou faillés.
- Renaudière : Massif à bords circonscrits, intrusif dans les micaschistes briovériens.

Les travaux récents du C.E.A. intéressent le domaine situé dans le prolongement vers l'Est de ce dernier jusqu'à la Séguinière, localité située à l'Ouest de Cholet. A titre de comparaison avec les granites homologues du massif de Bressuire, la composition chimique de cet ensemble de granites à biotite est donnée tableau 16.

1°- Caractères minéralogiques

Les principaux caractères minéralogiques des granites à biotite sont résumés ci-après : Tableau 15

MASSIFS MINÉRALOGIE	ROUSSAY	ST GERMAIN	LA RENAUDIÈRE
QUARTZ	Globuleux cataclasé	Cataclasé granulé fin	Globuleux
FELDSPATH POTASSIQUE	Microcline non perthitique	Microcline	Microcline perthitique (tâches)
PLAGIOCLASE	Oligoclase An 22-30 % myrméctites	Oligoclase séricitisé An 25-30 %	Oligoclase zoné An 22-10 %
BIOTITE	Lamelles plissotées et chloritisées	Deux générations (lamelles et nids poecilolitiques avec le quartz)	Baguettes dispersées xénomorphes
MINÉRAUX ACCESSOIRES	Leucoxène	Allanite-hénatite.	Sphène-Apatite Zircon-Monazite

Tableau 15 : Caractères microscopiques des principaux granites à biotite de l'encaissant Nord du massif de Mortagne.

MASSIF GRANITIQUE	BRESSUIRE NORD			ENCAISSANT NORTAINE NORD				
	BRESSUIRE NORD			RUES/Y		ST GERMAIN	NATAINE	
	MOULINS à tendances granodioritique porphyroïde			grano- diorite	à tendances porphyroïde		λ	μ
ECHANTILLONS	4	16		6	2	6	2	5
SiO ₂	64,95	70,00		66,56	65,55	74,51	74,26	73,26
Al ₂ O ₃	16,55	15,50		15,90	15,50	12,86	12,75	13,61
Fe ₂ O ₃	4,70	2,26		4,63	5,94	1,86	2,30	1,89
Mn O	0,07	0,04		0,07	0,13	0,03	0,02	0,03
Mg O	1,97	0,87		1,88	2,22	0,38	0,28	0,16
Ca O	3,01	1,42		2,37	2,30	1,04	0,87	1,05
Na ₂ O	3,46	3,40		3,05	3,74	3,45	3,30	3,61
K ₂ O	4,03	4,22		3,73	1,63	4,57	4,38	4,78
ThO ₂	0,60	0,41		0,59	0,79	0,15	0,20	0,14
P.F.	0,96	1,45		2,81	2,15	0,95	1,19	0,79
K - (Na + Ca)			- 80	- 28	- 66	- 31	- 28	- 32
Si/3 - (K + Na + 2 Ca/3)			144	130	190	193	200	177
Fe + Mg + Ti			124	132	62	35	41	30
Norme			26	23	34	35	36	32
DE			22	24	10	6	7	5
M. de la Roche			52	53	66	59	57	63
Feldspaths								

Tableau 16 : Compositions chimiques des granites à biotite de l'encaissant Nord du Massif de Mortagne et du Massif de Bressuire.

λ : Leptynites de la Séguinière
μ : Micaschistes à biotite

a) Granite à biotite de Roussay

Il révèle des reliques de texture gneissique et des enclaves basiques à biotite amphibole.

Par sa tendance granodioritique, il se rapproche des termes les plus ferromagnésiens de la séquence "Moulins" (page 63).

Le caractère plissoté des biotites chloritisées et la microcataclase du quartz sont la marque d'une rétro-morphose qui a affecté ce granite lors du chevauchement du massif de Mortagne sur l'encaissant Nord granitisé.

b) Les granites à biotite de St Germain et de la Renaudière.

Plus leucocrates que les précédents, ils s'en rapprochent par la dominance de l'oligoclase sur le microcline qui est perthitique (faciès de type "La Colle") ; cependant le granite de la Renaudière se distingue de celui de St Germain par la plus grande abondance de feldspaths et l'absence d'orientation des biotites.

2° - Composition chimique

L'examen du tableau 16 montre des granites à biotite ayant un pôle granodioritique, riche en chaux, alumine et ferromagnésiens (type Roussay) et un terme calco-alcalin (type la Renaudière) peu alumineux et trop calcique pour admettre la formation de la muscovite.

De plus, les granites les plus biotitiques (Roussay) se rapprochent par leur composition des micaschistes à biotite encaissants. Les granites de St Germain et de la Renaudière, plus siliceux et moins alumineux ont une composition chimique voisine de celle des leptynites de la Séguinière.

3° - Tendances chimiques opposées à celles de Mortagne

Les granites à biotite présentent en général un axe évolutif à caractère silico-potassique ; la feldspathisation potassique entraîne la décroissance du caractère calcoferromagnésien, (types St Germain et Moulins). Les plagioclases s'acidifient légèrement avec la formation de myrmékites en bourgeons.

Cependant, à la différence du granite de Moulins, celui de Roussay est caractérisé par une évolution siliceuse à silicosodique qui diffère de celle des granites à deux micas, car l'albitisation ne s'y manifeste pas intensément, cette tendance est liée à la chloritisation qui occasionne un départ de potassium, et ainsi qu'à l'acidification de l'oligoclase.

Les autres granites de St Germain et de la Renaudière présentent,

comme ceux de Moulins, une évolution silicopotassique à tendance siliceuse pour St Germain, à tendance plus alcaline pour les granites postectoniques de la Renaudière.

C - CONCLUSION

Comparativement aux granites de Bressuire, de Moulins et de ceux situés au Nord de la Romagne, l'ensemble granitique de Mortagne se caractérise par une évolution chimico-minéralogique plus accusée, lui conférant un caractère dans l'ensemble plus potassique; il aurait également conservé une tendance alumineuse et potassique héritée des gneiss à biotite-sillimanite des Herbiers.

Les granites à biotite à l'encaissant Nord de Mortagne et de Moulins présentent une évolution de nature silico-potassique tandis que les granites à deux micas sont caractérisés par une évolution silicosodique. Toutefois, l'évolution chimique du granite à biotite de Roussay est dominée par une évolution à tendance silicosodique en relation avec la chloritisation de ses biotites et conserve un net caractère ferromagnésien comme les granites voisins de Moulins ; ces derniers n'ayant pas toujours subi l'emprise de la tectonique sont dans l'ensemble moins chloritisés. Leur nature calcosodique est conservée dans les granites à deux micas de Bressuire auxquels ils passent par des termes de transition.

Les deux tendances évolutives majeures mises en évidence par G.RANCHIN (1970) dans les granites de Guéret (Limousin) se retrouvent en Vendée dans le massif de Bressuire; ce sont :

- l'évolution silico alcaline à tendance potassique des granites à biotite,
- l'évolution silicosodique des granites à deux micas.

Dans les granites à deux micas du massif de Bressuire, il n'apparaît pas de tendance à la greisenisation, caractère qui se manifestait nettement par une évolution silicopotassique ultime dans le massif de Mortagne.

VI - GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS DANS LES MINERAUX PHYLLITEUX

A - BUTS THEORIQUE ET PRATIQUE

L'incidence de l'évolution chimique des granites à deux micas de Mortagne sur la composition des minéraux phylliteux est importante à considérer.

L'étude des éléments majeurs doit servir à définir des paramètres servant à comparer les biotites des deux principaux ensembles : les granites à biotite, les granites à deux micas.

Les paramètres seront interprétés comme repère du degré d'évolution des biotites afin de les utiliser pour suivre le comportement de l'uranium - (troisième chapitre) - et d'autres éléments en traces dans les phyllites (quatrième chapitre).

La transformation autonéotamorphique des biotites en chlorite, puis en muscovite avec néoformation d'oxyde de fer et de rutile a été étudiée sur environ une centaine d'échantillons.

Ceux-ci proviennent des prélèvements effectués transversalement aux structures, d'une part d'un massif fertile en gisements : Mortagne, et d'autre part, d'un massif stérile : Bressuire.

Les propriétés optiques des minéraux phylliteux observés en lame mince, puis en grains séparés montés dans une préparation du type ciment dentaire sont étudiées en vue d'analyses géochimiques : éléments majeurs, eau de constitution, fluor, et quelques éléments en traces dont l'uranium, l'étain et le tungstène.

Ce travail a un double but. Les teneurs des éléments dosés sont tout d'abord envisagées dans le cadre de la zonalité. Ensuite, il sera proposé une explication d'un mécanisme de préconcentration géochimique pour l'uranium en liaison avec les phénomènes de chloritisation et de muscovitisation des biotites. (troisième chapitre).

Les conséquences pratiques de ces études sont envisagées dans l'optique du domaine de la prospection stratégique (cinquième chapitre).

B - REMARQUES PRELIMINAIRES AUX ETUDES CHIMIQUES DES CONCENTRES EN GRAINS

Les études qui suivent sont basées sur l'examen des phases minérales séparées. Après le broyage de la poche totale, le tri des minéraux en grains a nécessité une bonne qualité dans les phases de séparation de la biotite au séparateur paramagnétique Forrer, puis de la muscovite, par lévigation dans un courant d'eau.

La sélectivité des opérations de broyage a permis d'éliminer les biotites les plus fines (<65 mesh) souvent mélangées à des impuretés. Un premier contrôle à la loupe binoculaire permet d'éviter la présence de minéraux blancs dans le concentré à un seuil dépassant 1 %.

Les opérations sélectives de tamisage (entre 48 et 65 mesh) et de séparation entraînent une dérive dans la représentativité des concentrés obtenus par rapport aux lames minces.

Après avoir fait composer une préparation sur lame mince de concentré du type ciment dentaire avec la phase minérale dispersée dans la roche ; il est courant de constater que la concentration élimine une légère fraction de biotite chloritisées. Il subsiste parfois des traces de chlorite et de muscovite fixées

en inclusions. Les inclusions radioactives entourées de halos dans les biotites subsistent dans les concentrés obtenus.

Les muscovites séparées ne présentent pas d'impureté, mais peuvent conserver des apatites microscopiques.

C - RAPPEL DES PROPRIÉTÉS OPTIQUES DES PHYLLITES.

1° - Biotites

L'examen pétrographique révèle l'existence des biotites brun-rouge chargées en halos pléochroïques entourant les centres radio-actifs. La chloritisation des biotites dans les deux massifs étudiés est soit absente, soit partielle, ou bien totale. Elle se manifeste par le verdissement progressif des biotites. Il s'agit parfois d'une transformation de la biotite saine en chlorite avec néoformation de feldspath potassique en fuseaux (Pl. III Fig. 4). Le type le plus fréquent d'"altération endogène" est l'interstratification de la biotite avec des lamelles de chlorite et de muscovite ; cette dernière tend à remplacer la chlorite (Pl. III Fig. 5).

2° - Muscovites

La muscovite primaire se présente en lames incolores parallèles à la biotite, avec des inclusions de petites apatites et parfois des cristaux d'uraninite.

La muscovite secondaire forme des cristaux impurs, gris en lumière polarisée, Elle contient des traînées d'oxydes de fer et des plages chloriteuses. Il a été difficile de séparer ces deux types dans les concentrés qui coexistent dans une lame mince donnée.

3° - Indices de réfraction

La mesure des indices de réfraction sur phyllites séparées a été effectuée par la méthode d'immersion en lumière monochromatique ($\lambda = 5700 \text{ \AA}$) : les indices des liquides ont été mesurés à l'aide d'un réfractomètre d'Abbe. Ils varient de 1,57 à 1,65 pour les cristaux de biotites chloritisées, de 1,60 à 1,65 pour les biotites.

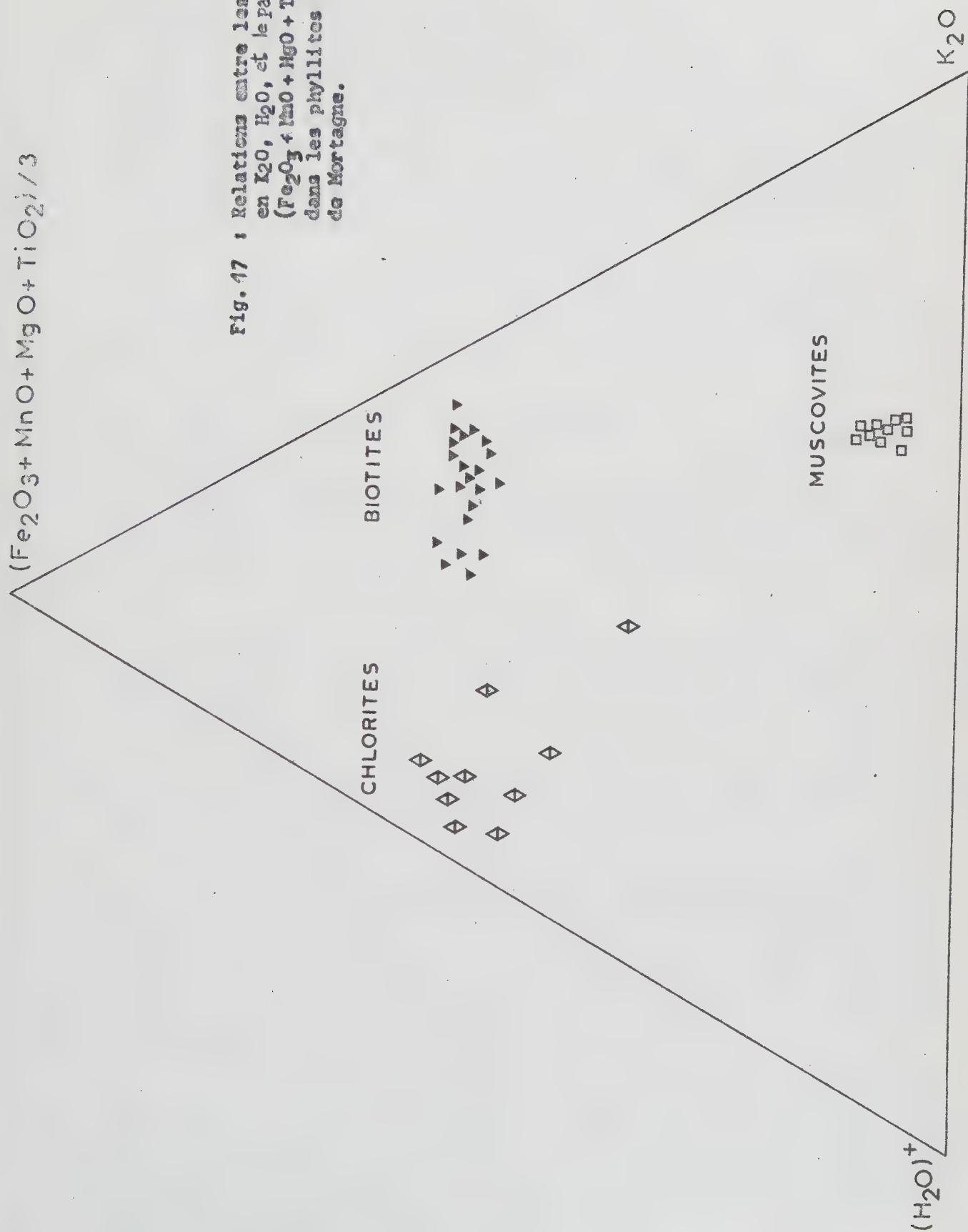
Les indices de réfraction des muscovites de Mortagne et de Brossuire sont compris entre 1,59 et 1,60 ; leurs angles 2V varient de 35° à 38°. Il s'agit donc d'après WINCHELL (1964) de muscovite contenant au maximum 10 % de ferrimuscovite : $K_2 Al_2 Fe_2^3 (Si_6 Al_2) O_{20}$ et de 70 % de picrophongite : $K_2 Mg Al_3 (Si_7 Al) O_{20} (OH)_4$ et 20 % de muscovite pure : $K_2 Al_4 (Si_6 Al_2) O_{20} (OH)_4$

	Granites orientés migmatitiques	Granites porphyroïdes à biotite dominante		Granites albitisés à muscovite	
	BIOTITES	BIOTITES	CHLORITES	BIOTITES	CHLORITES
	N = 7	N = 19	N = 4	N = 11	N = 4
SiO ₂	36,56	35,49	30,82	36,47	32,27
Al ₂ O ₃	19,63	19,15	21,65	21,05	21,72
Fe ₂ O ₃	21,79	24,70	26,18	24,60	27,20
MnO	0,35	0,36	0,30	0,52	0,50
MgO	6,96	5,71	5,90	3,55	3,50
CaO	0,24	0,50	0,45	0,20	0,64
Na ₂ O	0,24	0,31	0,22	0,30	0,17
K ₂ O	7,66	7,21	1,56	7,09	1,75
TiO ₂	2,67	2,70	2,35	2,18	2,10
P.F.	(2,83)	(2,87)	(9,33)	(3,11)	(9,67)
H ₂ O ⁺	2,98	2,75	9,20	2,95	9,76
Fluor	0,66	1,04	0,20	1,20	0,29
Total	99,74	99,92	99,83	100,11	99,90
	MUSCOVITES	MUSCOVITES		MUSCOVITES	
	N = 3	N = 20		N = 13	
SiO ₂	46,40	47,22		47,65	
Al ₂ O ₃	35,65	33,05		33,55	
Fe ₂ O ₃	1,25	1,84		2,25	
MnO	0,04	0,04		0,07	
MgO	0,82	0,99		0,91	
CaO	0,47	0,14		0,26	
Na ₂ O	0,93	0,85		0,84	
K ₂ O	9,09	9,20		9,14	
TiO ₂	0,50	0,86		0,51	
P.F.	(4,53)	(4,78)		(4,57)	
H ₂ O ⁺	4,80	4,80		4,26	
Fluor	0,12	0,62		0,73	
Total	100,07	99,61		100,22	

Tableau 17 Compositions chimiques moyennes des minéraux phylliteux du Massif de Mortagne

$(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2) / 3$

Fig. 47 : Relations entre les teneurs en K_2O , H_2O , et le paramètre $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2) / 3$ dans les phyllites du massif de Mortagne.



D - PRINCIPAUX CARACTERES CHIMIQUES DES PHYLLITES DE MORTAGNE

1° - Composition chimique moyenne des phyllites.

Les analyses chimiques des minéraux phylliteux séparés (tableau 17) se groupent en trois domaines distincts qui sont figurés dans un diagramme triangulaire (Fig. 17) construit avec les paramètres : $K_2O - H_2O - (Fe_2O_3 + MgO + Al_2O_3)/3$ et qui correspondent respectivement aux biotites, chlorites et muscovites. Des points figuratifs intermédiaires entre les domaines marquent le passage progressif des biotites aux chlorites ; par contre, le passage des chlorites et des biotites aux muscovites est brutal. Ces dernières sont peu dispersées dans le système utilisé de représentation ternaire.

Les moyennes chimiques effectuées sur un certain nombre de minéraux phylliteux mettent en évidence les principales variations des éléments majeurs d'un groupe à l'autre (Tableau 17).

2° - Conséquences chimiques de la chloritisation et de la muscovitisation des biotites.

a) La chloritisation (ou verdissant) des biotites se traduit par l'apport d'ions oxhydriles (10 % en poids) et libère la presque totalité des alcalins, et un peu de silice (5 %).

b) Le remplacement brutal de la biotite par la muscovite nécessite l'expulsion presque totale des éléments ferro-magnésiens (20 à 30 %), l'introduction d'environ 9,3 à 14,2 % d'alumine et de 4,6 à 7,1 % de silice ainsi que d'un peu d'eau (1,3 à 4,3 %).

Le passage de la biotite à la muscovite est toujours brutal par rapport au phénomène de la chloritisation.

c) La pseudomorphose de la biotite par la muscovite et la chlorite laisse supposer que les éléments Fe et Mg libérés au cours de la muscovitisation ont été consommés par la chloritisation ; par contre, Si et K libérés au cours de la chloritisation sont nécessaires pour former la muscovite. Il faut également un apport d'ions oxhydriles et d'aluminium. Ce dernier élément peut provenir de l'albitisation des plagioclases qui le libère.

Ces transformations biotite → chlorite et biotite → muscovite, sont comparables en tous points à celles que G. MULLER (1966) observe dans les granites de l'Erzgebirge. Il est impossible ici de donner un bilan chimique au niveau des roches totales à la suite de ces transformations minéralogiques qui seront préciser à partir des formules structurales des micas.

E - FORMULES STRUCTURALES DES BIOTITES ET MUSCOVITES

1°- Mode de calcul

Les formules structurales, calculées à partir des données analytiques pondérales par la méthode de M.D. FOSTER (1960) , donnent les groupements d'ions de la cellule unitaire, la répartition des charges entre les sites ainsi que les relations d'isomorphisme. Les calculs ont été effectués sur la base de 24 valences anioniques et cela malgré les erreurs analytique relatives aux dosages de l'eau et du fluor.

La cellule unitaire des biotites (micas trioctaédriques) et des muscovites (micas dioctaédriques) contient idéalement (DEER W.A., HOWIE . ZUSSMAN) - (1962) :

- 6 ions Si^{4+} et 2 Al^{3+} dans la couche tétraédrique ;
- 6 cations divalents ou 4 trivalents dans la couche octaédrique ;
- 2 cations monovalents interfoliaires ;
- 20 ions O^{2-} et un groupe oxhydrile composé de 4 ions monovalents

totalisent 24 anions. La charpente anionique contient 24 anions et porte 44 charges négatives qui contre-balancent les 44 charges positives des cations.

La formule structurale de la cellule unitaire d'un mica théorique s'écrit alors : $\text{X}_2\text{Y}_{4-6}\text{Z}_8\text{O}_{20}(\text{O},\text{OH},\text{F})_4$

Les différents ions présents dans la structure, occupent les sites cristallographiques suivants :

- Z est le site tétraédrique occupé par Si, Al et occasionnellement par Ti^{4+} , Fe^{3+} .
- Y est la position octaédrique occupée par des ions de taille moyenne Al, Fe^{2+} , Ti, Mg, Li, Sn.
- le site X est représenté par les ions interfoliaires des micas : K, Na, Ca, Rb, Cs, Ba, Sr.

Site cristallographique et coordination	Principaux ions rencontrés	
	Si^{4+} Al^{3+}	Fe^{3+} , Ti^{4+} , Ba^{2+}
Z - 4		
Y - 6	Al^{3+} Mg^{2+} , Fe^{2+}	Li^{+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} W^{4+} , Sn^{4+} , Mo^{4+} Nb^{4+} , Zr^{4+} , Ta^{5+}
X - 12	K^{+}	Rb^{+} , Ca^{2+} Na^{+} U^{4+} Th^{4+}

Tableau 18 : Principaux ions rencontrés dans les sites cristallographiques de la biotite d'après DEER W.A. , HOWIE R.A., ZUSSMAN (1962) et R. COPPENS (1970 - Cours "L'Atome et la Géologie")

TYPE DE GRANITE	N° éch.	IONS INTRACRYSTALLIQUES		IONS OCTAÉDRIQUES						IONS INTERFOLIAIRES				ANIONS		ELEMENTS EN TRACES en µg/g ou g/t							
		Si	Al ^{IV} Total	Al ^{IV}	Ti	Fe ³	Fe ²	Mn	Pb	Total	Ca	Na	K	Total	OH	F	U	Etain	Fluor	Lithium	Rubidium	Césium	
Granite laminé à tourmaline	NME 18	5,32	2,13	3,00	1,76	0,15	0,93	0,77	0,06	0,34	3,95	0,03	0,13	0,96	1,12	4,98	0,48	36,0	210	11 000	2 512	630	1 220
Granite cataclasté	20	4,23	3,44	7,57	0	0,15	1,13	1,85	2,09	1,06	4,28	0,11	0,05	0,11	0,27	10,20	0,08	88,0	nd	1 800	1 072	71	< 20
Granites à teintance porphyroïde	23	5,25	2,72	9,00	0,94	0,32	0,14	2,48	0,04	1,29	5,51	0,05	0,11	1,56	1,72	2,63	0,64	22,0	35	13 300	2 512	2 250	250
	24	4,91	3,09	8,00	0,12	0,31	0,83	2,19	0,04	1,36	5,85	0,12	0,05	1,12	1,29	5,78	0,30	24,4	48	6 300	2 000	708	200
	25	5,05	2,95	9,00	0,39	0,33	1,10	1,79	0,03	1,20	6,66	0,18	0,10	1,12	1,41	4,48	0,51	102,0	100	11 200	2 700	710	410
	26	4,61	3,04	8,00	0,18	0,30	1,95	0,84	0,06	1,24	4,77	0,08	0,10	1,12	1,30	4,38	0,48	34,2	65	10 400	2 512	708	282
	27	4,40	3,50	7,90	0	0,28	1,01	1,73	0,06	0,77	3,85	0,06	0,03	0,33	0,42	9,80	0,16	57,6	nd	3 700	512	141	< 20
Granites à tourmaline	27b	5,10	2,60	9,00	0,83	0,32	0,54	2,30	0,04	1,17	5,25	0,11	0,12	1,55	1,78	2,89	0,57	22,4	45	12 000	3 160	1 700	700
	29	4,23	3,65	7,97	0	0,23	1,14	1,58	0,03	1,05	4,05	0,07	0,08	0,29	0,45	9,80	0,14	nd	nd	3 200	1 072	219	20
	94	5,60	2,40	9,00	1,20	0,27	0,66	2,29	0,08	0,85	5,35	0,05	0,15	1,53	1,70	3,00	0,76	38,8	nd	15 700	2 400	630	200
	30	5,15	2,65	9,00	0,89	0,21	0,76	2,02	0,09	0,62	5,90	0,12	0,10	1,11	1,34	5,18	0,48	27,4	170	10 500	3 160	1 700	1 330
	31	5,03	2,97	8,00	0,80	0,16	2,23	0,33	0,03	0,03	3,88	0,06	0,08	0,57	0,71	7,13	0,11	31,0	nd	2 600	347	158	190
Granites albitisés à muscovite dominante	32	4,15	3,16	7,59	0	0,28	1,57	1,54	0,06	0,72	4,17	0,14	0	0,22	0,36	9,85	0,10	13,2	nd	2 300	660	< 10	11
	33	4,97	3,03	8,00	0,53	0,25	1,22	1,76	0,06	0,78	4,60	0,11	0,08	1,05	1,24	5,18	0,51	9,5	nd	11 300	1 650	700	350
	34	5,27	2,73	8,00	0,99	0,24	0,68	1,90	0,06	1,04	4,91	0	0,05	1,05	1,11	4,82	0,44	11,3	75	9 500	nd	nd	nd
	35	5,33	2,67	9,00	0,89	0,32	0,65	2,15	0,06	0,81	4,88	0,09	0,09	1,42	1,60	3,88	0,59	33,3	90	12 700	1 900	800	600
	36	5,30	2,70	8,00	1,00	0,29	0,75	2,22	0,04	1,02	5,32	0	0,07	1,46	1,53	3,24	0,46	49,4	60	9 700	nd	nd	nd
Granites porphyroïdes orientés	37	5,40	2,60	8,00	1,61	0,27	0,74	1,78	0,05	1,18	5,62	0	0,09	1,44	1,53	4,17	0,32	10,2	60	6 600	1 450	700	230
	39	5,52	2,48	8,00	1,37	0,21	0,77	1,89	0,08	0,90	5,20	0	0,07	1,26	1,33	3,08	0,52	25,5	nd	10 900	nd	nd	nd
	41	5,17	2,53	8,00	1,17	0,21	0,50	2,63	0,06	0,52	5,03	0	0,11	1,50	1,61	3,23	0,68	19,4	nd	14 400	2 300	3 100	1 300
	42	5,57	2,49	8,00	0,67	0,30	0,88	1,92	0,03	1,31	5,11	0,14	0,06	1,46	1,66	3,40	0,45	10,2	nd	9 500	1 000	1 300	170
	43	5,67	2,33	8,00	0,86	0,25	0,73	1,94	0,03	1,37	5,18	0,01	0,13	1,46	1,60	2,99	0,48	15,6	27	10 100	nd	nd	nd
Granites porphyroïdes orientés	44	5,88	2,12	8,00	1,38	0,26	0,44	2,13	0,05	1,27	5,63	0	0,05	1,49	1,54	2,19	0,49	18,7	46	10 000	nd	nd	nd
	45	5,32	2,68	8,00	0,51	0,31	0,76	2,22	0,04	1,23	5,07	0,04	0,09	1,52	1,65	3,67	0,65	18,4	46	13 400	1 200	570	510
	46	4,50	3,28	7,73	0	0,31	1,03	1,68	0,02	1,43	4,47	0,08	0,84	0,34	1,26	8,95	0,18	19,0	nd	nd	nd	nd	nd
	47	5,32	2,68	8,00	0,67	0,30	0,53	2,30	0,05	1,30	5,15	0,13	0	1,47	1,60	3,64	0,58	30,1	45	12 000	1 550	1 300	450
	48	5,33	2,67	8,00	0,63	0,33	0,34	2,37	0,04	1,52	5,22	0,07	0,11	1,47	1,65	3,74	0,55	7,8	30	11 300	1 250	1 400	130
Granites migmatiques à 2 micas	50	5,13	2,87	8,00	0,72	0,29	0,49	2,35	0,04	1,35	5,25	0	0,15	1,42	1,57	3,94	0,48	17,0	90	10 000	1 400	1 100	450
	52	5,31	2,69	9,00	0,95	0,30	0,47	2,13	0,04	1,55	5,45	0	0,05	1,37	1,43	3,50	0,39	13,6	30	8 200	nd	nd	nd
	53	5,25	2,75	8,00	0,78	0,28	0,82	1,83	0,05	1,47	5,24	0,03	0,05	1,22	1,30	4,84	0,30	29,2	43	6 300	nd	nd	nd
	54	5,20	2,90	8,00	0,60	0,28	0,86	1,97	0,04	1,17	4,93	0	0,05	1,24	1,30	4,57	0,41	22,7	35	8 700	EA	nd	nd
	55	5,45	2,55	8,00	0,80	0,36	0,42	2,14	0,04	1,50	5,26	0,07	0,09	1,54	1,70	3,79	0,21	13,2	24	4 300	770	710	110
Granites migmatiques à 2 micas	56	5,24	2,76	9,00	0,82	0,29	0,75	1,71	0,04	1,71	5,35	0,12	0,04	1,55	1,70	3,87	0,10	7,6	19	2 300	510	1 500	85
	57	5,17	2,53	9,00	1,15	0,31	0,60	1,62	0,04	1,54	5,32	0	0,05	1,38	1,43	3,79	0,17	21,6	25	3 600	nd	nd	nd
	58	5,54	2,46	8,00	0,06	0,29	0,17	2,16	0,31	2,04	5,03	0	0,15	1,42	1,57	3,81	0,27	18,9	25	5 600	570	800	72
	60	5,26	2,48	7,74	0	0,26	0,73	2,09	0,07	1,41	4,56	0	0,10	1,37	1,47	1,83	0,08	8,4	35	1 800	1 400	1 100	620

TABLEAU 19 : FORMES STRUCTURALES DE LA CELLULE UNITAIRE DES BIONITES DU MASSIF DE MONTAIGNE. TENEURS EN URANIUM - ETAIN-FLUOR-ALCALINS RARES

Granites à deux micas		Migmatitiques				Porphyroïdes orientés					Albitisés à muscovite dominante			Sens des variations observées
ECH n°		VMR 55	VMR 56	VMR 57	VMR 42	VMR 43	VMR 52	CAV 94	VMR 36	VMR 39				
Z	Si	5,45	5,24	5,47	5,57	5,67	5,31	5,60	5,30	5,52	Al →	Ti →	Fe2 →	
	Al	2,55	2,76	2,53	2,49	2,33	2,69	2,40	2,70	2,48				Mg →
Y	Al	0,80	0,82	1,15	0,67	0,86	0,95	1,20	1,00	1,37	F →	U →	→	
	Fe3	0,42	0,75	0,60	0,88	0,73	0,47	0,66	0,75	0,77				
	Ti	0,36	0,29	0,31	0,30	0,25	0,30	0,27	0,29	0,21				
	Fe2	2,14	1,71	1,62	1,92	1,94	2,13	2,29	2,22	1,89				
	Mn	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,08	0,04	0,08				
X	Mg	1,50	1,74	1,54	1,31	1,37	1,56	0,85	1,02	0,90	→	→	→	
	Ca	0,07	0,12	0,00	0,14	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00				
	Na	0,09	0,04	0,05	0,06	0,13	0,05	0,11	0,07	0,07				
	K	1,54	1,55	1,38	1,46	1,46	1,37	1,53	1,46	1,26				
	OH	3,79	3,87	3,79	3,40	2,99	3,50	3,00	3,24	3,08				
F	F	0,21	0,10	0,17	0,45	0,48	0,39	0,76	0,46	0,52	→	→	→	
	Uten/Mg	13,2	7,6	21,6	10,2	15,6	13,6	38,8	49,4	25,5				
	Fe3/Fe2	0,20	0,42	0,37	0,46	0,38	0,22	0,29	0,34	0,41				
	Fe2/Fe3	0,63	0,59	0,59	0,68	0,66	0,63	0,78	0,75	0,75				
Charges Z négatives en excès		-2,55	-2,76	-2,53	-2,49	-2,33	-2,69	-2,40	-2,70	-2,48				
Charges Y positives en excès		0,46	0,85	0,89	0,37	0,45	0,92	1,10	0,97	1,00				
Charges du feuillet		-2,09	-1,91	-1,64	-2,12	-1,88	-1,77	-1,30	-1,73	-1,48				
Charges X inter-foliaires		1,77	1,82	1,43	1,80	1,61	1,43	1,75	1,53	1,33				
bilan		-0,32	-0,09	-0,21	-0,32	-0,27	-0,34	-0,45	-0,20	-0,15				

Tableau 20 : CELLULES UNITAIRES DE BICITES FRAICHES DES PRINCIPAUX TYPES PETROGRAPHIQUES (PROFIL TRANSVERSAL DU MASSIF DE MONTAGNE).

PÉTROGRAPHIQUE	Don n°	TETRAEDRIQUES		OCTAEDRIQUES						INTERFOLIAIRES			ANIONS			ELEMENTS EN TRACES (ppm)						
		Si	Al Total	Al	Ti	Fe ³	Fe ²	Mn	Mg	Total	Ca	Na	K	Total	OH	F	Total	U	Sn	W	F	
Granite à tourmaline	18	5,88	2,22	8,00	3,18	0,03	0,13	0,16	0	0,17	3,66	0,27	0,19	1,61	2,07	4,27	0,51	4,78	5,4	75	50	12 300
Granite cataclasé amuscovite chlorite	20	6,02	1,98	8,00	3,43	0,06	0,13	0,09	0	0,21	3,93	0,04	0,19	1,68	1,91	4,00	0,24	4,24	6,6	120	50	5 800
	21	6,03	1,17	8,00	3,44	0,04	0,10	0,10	0	0,22	3,91	0	0,28	1,38	1,66	3,88	0,20	4,08	14,0	115	50	5 000
Granites porphyroïdes orientés	CAV45	6,15	1,85	8,00	3,43	0,02	0,13	0,10	0	0,20	3,90	0	0,25	1,60	1,85	3,84	0,21	4,05	6,1	nd	nd	2 000
	23	6,52	1,48	8,00	3,57	0,09	0,09	0,02	0	0,20	4,14	0,02	0,30	1,58	1,90	4,07	0,23	4,30	12,0	55	150	5 000
	24	6,38	1,62	8,00	3,26	0,10	0,08	0,10	0	0,20	3,74	0,02	0,27	1,63	1,92	4,00	0,31	4,31	3,8	55	50	7 400
	25	6,32	1,68	8,00	3,18	0,11	0,05	0,20	0	0,20	3,72	0,07	0,21	1,63	1,91	3,98	0,38	4,36	8,4	105	50	9 000
Aplite	27c	6,30	1,70	8,00	3,20	0,04	0,12	0,24	0	0,11	3,70	0,07	0,21	1,60	1,88	4,00	0,46	4,46	2,5	nd	nd	11 000
Granite à tourmaline	30	6,35	1,65	8,00	3,19	0,04	0,17	0,14	0	0,16	3,73	0,11	0,17	1,57	1,85	4,09	0,33	4,42	2,8	85	100	8 000
	CAV94	5,89	2,11	8,00	3,22	0,16	0,34	0,13	0	0,14	3,99	0,09	0,26	1,60	1,92	3,84	0,34	4,18	6,2	nd	nd	8 200
Granites "albitisés" A	31	6,38	1,62	8,00	3,48	0,04	0,02	0,21	0	0,16	3,92	0	0,20	1,58	1,79	3,83	0,38	4,21	2,8	130	100	9 200
muscovite dominante	32	6,15	1,85	8,00	3,47	0,04	0	0,14	0	0,16	3,92	0,09	0,25	1,58	1,91	3,74	0,32	4,06	2,3	100	50	7 800
	33	6,26	1,74	8,00	3,57	0,04	0,03	0,12	0	0,16	3,83	0	0,25	1,60	1,85	3,71	0,46	4,17	nd	90	50	8 900
	35	6,24	1,76	8,00	3,59	0,07	0,05	0,13	0	0,16	4,01	0	0,24	1,60	1,84	nd	0,34	nd	6,9	60	60	7 900
	37	7,03	0,97	8,00	3,10	0,05	0,05	0,08	0	0,16	3,45	0	0,27	1,61	1,88	4,50	0,11	4,61	3,8	75	50	2 400
	39	6,32	1,68	8,00	3,60	0,03	0,02	0,11	0	0,21	3,98	0	0,21	1,57	1,78	3,76	nd	nd	3,8	175	200	nd
	41	6,26	1,74	8,00	3,74	0,06	0,03	0,08	0	0,24	4,11	0	0,24	1,60	1,84	3,70	0,35	4,06	3,7	nd	nd	8 400
	42	6,28	1,72	8,00	3,68	0,08	0,02	0,08	0	0,20	4,08	0	0,25	1,60	1,85	4,65	0,16	4,81	nd	nd	nd	4 300
	44	6,25	1,75	8,00	3,45	0,11	0,03	0,11	0	0,22	4,92	0	0,18	1,52	1,70	3,97	nd	nd	7,3	50	nd	nd
Granites porphyroïdes orientés	45	6,32	1,68	8,00	3,56	0,08	0	0,12	0	0,29	4,05	0	0,29	1,62	1,90	3,88	0,33	4,21	nd	20	nd	7 800
	46	6,27	1,73	8,00	3,52	0,12	0,04	0,12	0	0,27	4,08	0	0,12	1,52	1,64	3,67	nd	nd	6,6	48	100	nd
	47	6,32	1,68	8,00	3,72	0,08	0,02	0,10	0	0,22	4,14	0	0,22	1,64	1,88	3,84	0,24	4,08	6,1	42	nd	5 300
	48	6,25	1,75	8,00	3,65	0,11	0,03	0,08	0	0,21	4,07	0	0,21	1,55	1,76	4,20	0,10	4,30	nd	42	60	5 600
	50	6,25	1,75	8,00	3,73	0,07	0	0,09	0	0,26	4,09	0	0,26	1,64	1,90	4,00	0,16	4,16	4,6	nd	nd	4 300
	53	6,32	1,68	8,00	3,77	0,10	0,03	0,12	0	0,22	4,04	0	0,19	1,42	1,61	4,00	0,02	4,03	2,0	65	50	2 000
	59	6,15	1,35	8,00	3,90	0,06	0,05	0,06	0	0,12	4,08	0	0,29	1,60	1,89	4,40	nd	4,40	1,2	32	100	1 200
Migmatites	60	6,12	1,08	8,00	3,82	0,03	0,06	0,02	0	0,14	4,00	0	0,26	1,60	1,86	4,40	0,03	4,43	3,0	30	200	400

Tableau 21 : FORMULES STRUCTURALES DE LA CELLULE UNITAIRE DES MUSCOVITES DU MASSIF DE MORTAGNE.
TENEURS EN FLUOR, URANIUM, ETAIN, TUNGSTÈNE

Les relations cristallochimiques entre les éléments sont déduites des calculs systématiques de formules structurales.

2° - Caractères généraux des biotites et muscovites du massif de Mortagne.

a) Biotites

Les formules structurales des biotites du profil VMR transversal aux structures majeures du massif sont données dans les tableaux 19 - 20 (annexe).

Les biotites fraîches de ce profil présentent les propriétés communes qui suivent :

- Teneur en eau de constitution comprise entre 3 et 4 % ;
- Une couche tétraédrique saturée par $Si + Al = 8$;
- Un nombre de positions octaédriques occupées qui est compris entre 5 et 6 ;
- Un nombre d'ions interfoliaires compris entre 1 et 2.

Les variations observées dans les formules structurales, confirment celles observées à l'analyse chimique brute ; elles portent essentiellement sur les éléments suivants :

- Al^{3+} octaédrique augmente ;
- Mg^{2+} , Ti^{4+} , Ca^{2+} diminuent ;
- Fe^{2+} augmente, Fe^{2+}/Mg^{2+} s'accroît ;

Ces tendances s'inscrivent dans le sens de la différenciation granitique et seront considérées sous l'angle des substitutions isomorphiques.

b) Muscovites

Les muscovites sont caractérisées par une homogénéité supérieure à celle des biotites. Les principales variations offertes par leurs formules structurales (tableau 21 - annexe) consistent en une augmentation du fer total et du rapport Fe^{2+}/Mg^{2+} lorsque l'on suit le sens d'évolution granitique.

3° - Principales substitutions d'éléments majeurs dans les biotites.

Le report des points figuratifs de ces biotites sur le diagramme de WINCHELL montre que les biotites du massif de Mortagne sont décalées vers le domaine des sidérophyllites : biotites ferriques et alumineuses de formule $K_2 Fe_5^{2+} Al_3 Si_5 O_{20} (OH)_4$ et que l'on rencontre dans les gneiss (Fig. 18). Ce domaine est figuré d'après les sidérophyllites des granites albitiques du Terraouadji étudiées par J. FABRIES et G. ROCCI (1965) .

Cette tendance se manifeste par la croissance des rapports Al/Si et Fe/Mg mettant ainsi en relief les substitutions isomorphiques $Fe - Mg$ et $Al - Si$.

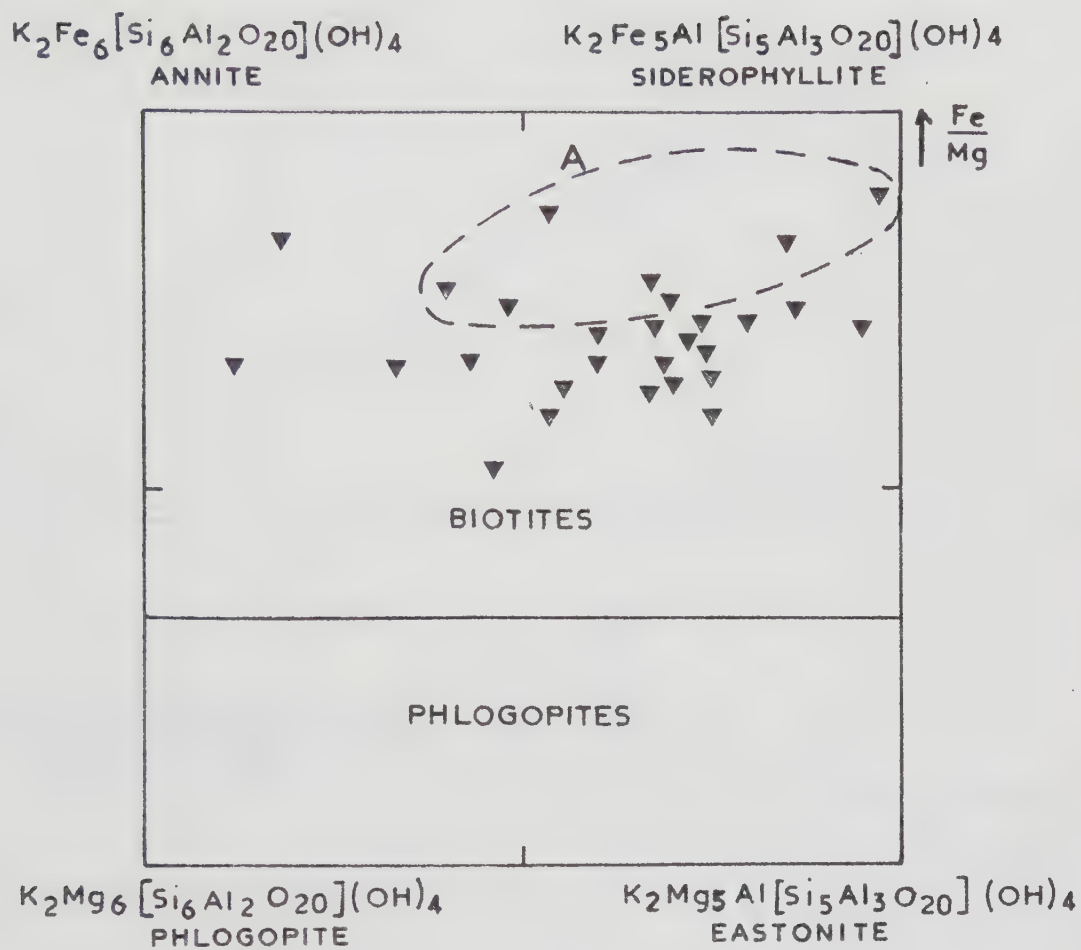


Fig. 48 : Diagramme des proportions molaires de phlogopite, eastonite, annite, siderophyllite pour les biotites du massif de Mortagne.

A : domaine des granites à feldspaths albitisés.

Fig. 19 : Domaines des biotites de roches granitiques d'après M. D. FOSTER

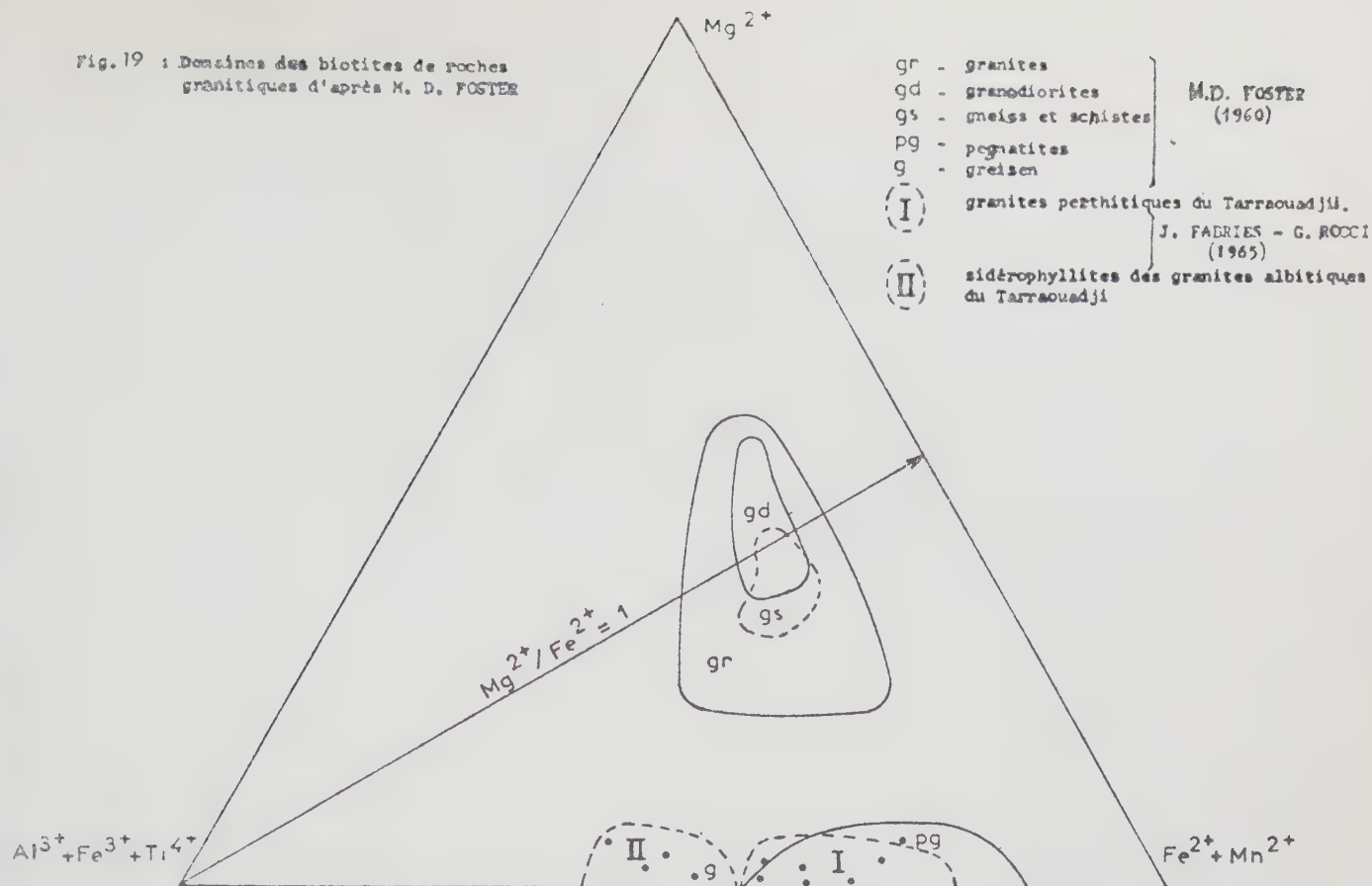
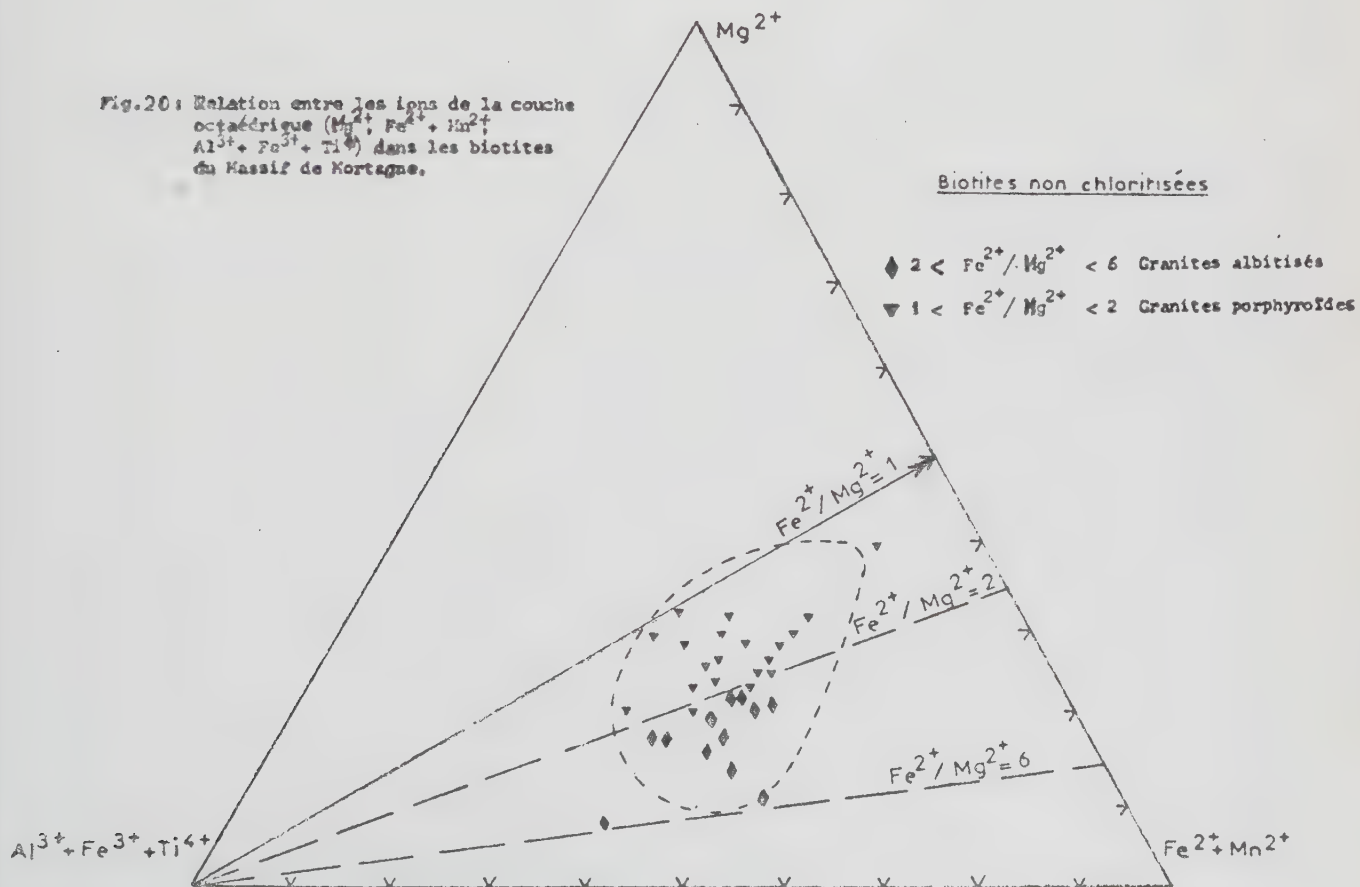


Fig. 20 : Relation entre les ions de la couche octaédrique (Mg^{2+} , $Fe^{2+} + Mn^{2+}$, $Al^{3+} + Fe^{3+} + Ti^{4+}$) dans les biotites du Massif de Kortagne.



MASSIFS	NEUVY BOUIN	BRESSUIRE			NEUVY BOUIN EST - PARTHENAY			BRESSUIRE	GRANITES A BIOTITE DE L' ENCAISSANT NORD MORTAGNE						
GRAVITES A DEUX MICAS	Porphyroïde A biotite dominante	Gros grain	Grain fin	Sondage CLEH	Grain fin A muscovite tourmaline	Cataclase Porphyroïde	Albitisé A muscovite	MOULINS A BIOTITE	ROUSSAY	VHR 12	15 B	8	9	7	6
N° Ech.	CAV 231	Sondage BRESS			CAV 235	CAV 236	CAV 407	Sondage CLEH							
SiO ₂	35,60	35,18		41,14	35,40	39,50	39,20	36,95		37,10	35,70	37,50	38,40	40,80	39,40
Al ₂ O ₃	20,00	20,00		18,94	21,30	20,10	19,70	17,52		17,10	16,70	16,60	16,90	17,00	16,20
Fe ₂ O ₃	23,00	24,32		21,13	21,54	21,85	25,44	21,07		20,88	21,56	19,88	20,21	17,70	19,09
MnO	0,52	0,44		0,40	0,64	0,54	0,66	0,33		0,20	0,30	0,97	0,47	1,63	1,54
MgO	7,45	6,62		4,95	5,53	4,29	2,49	8,72		8,72	10,01	10,52	9,33	8,85	9,35
CaO	0,78	0,45		0,73	0,33	0,00	0,24	2,44		1,20	1,99	0,78	0,73	0,59	0,15
Na ₂ O	0,09	0,13		0,39	0,18	0,39	0,00	0,01		0,60	0,55	0,00	0,00	0,64	0,00
K ₂ O	7,00	3,13		3,37	5,19	7,41	6,75	4,71		3,85	1,48	7,19	7,97	7,77	7,79
TiO ₂	3,12	2,34		2,51	2,49	2,34	2,25	3,16		2,97	3,35	2,44	2,51	2,83	2,65
P.F.	2,135	6,47		6,13	5,51	2,45	2,12	4,63		7,20	7,26	2,54	2,81	1,68	2,61
Si	5,05	4,73	7,64	5,49	8,00	5,65	5,50	4,92	7,67	4,95	4,75	5,00	5,12	5,45	7,84
Al IV	2,95	2,91		2,51	2,95	2,35	2,50	2,75		2,69	2,52	2,60	2,65	2,55	2,54
Al VI	0,41	0,20		0,46	0,63	1,03	0,81	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
Fe ³	0,52	0,57		0,56	0,65	0,65	0,85	0,36		0,77	0,39	0,54	0,72	0,97	0,70
Fe ²	1,94	1,86	4,23	1,46	1,66	1,70	1,89	1,75	4,21	1,32	1,77	1,44	1,30	1,14	4,23
Mn	0,06	0,05		0,05	0,08	0,06	0,08	0,04		0,02	0,03	0,01	0,06	0,02	1,25
Mg	1,59	1,32		1,00	1,18	0,92	0,53	1,74		1,75	2,00	2,11	1,86	1,65	0,02
Ti	0,33	0,23		0,25	0,27	0,25	0,24	0,32		0,30	0,34	0,24	0,29	0,28	1,87
Ca	0,12	0,06		0,10	0,04	0,00	0,03	0,36		0,17	0,29	0,11	0,10	0,09	0,02
Na	0,02	0,04	0,63	0,10	0,04	1,37	0,00	1,15	2,31	0,17	0,14	0,00	0,00	0,16	1,58
X	1,27	0,53		0,57	0,95	1,36	1,22	0,80		0,65	0,51	1,24	1,34	1,33	1,33
OH	3,94	7,22		6,16	6,50	3,94	2,96	5,12		n.d.	n.d.	5,28	5,40	4,30	5,12
F	n.d.	0,08		0,07	n.d.	n.d.	n.d.	0,14		n.d.	n.d.	0,25	0,12	0,55	0,50
$\frac{Fe^{2+} + Fe^{3+}}{Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mg}$	0,60	0,64		0,67	0,66	0,72	0,84	0,55		0,55	0,52	0,48	0,51	0,56	0,51
$\frac{Fe^{2+} + Fe^{3+}}{Fe^{2+} + Fe^{3+}}$	0,27	0,30		0,38	0,39	0,38	0,45	0,20		0,58	0,22	0,38	0,55	0,85	0,56
Mg/S	11,8	22,0	28,0		43,0	41,2	43,2	9,5		13,0	20,0	24,0	23,0	81,0	78,0

Tableau 22 : COMPOSITION CHIMIQUE DES BIOTITES DE GRANITES A DEUX MICAS ET DE GRANITES A BIOTITE.

Les diagrammes de FOSTER (1960) précisent pour leur part les principales substitutions d'ions au sein de la couche octaédrique (Fig. 19 - 20) les éléments Fe^{2+} et Mg^{2+} sont plus abondants que les ions à plus forte charge dans la couche octaédrique. Fe^{2+} et les ions trivalents remplacent les ions Mg^{2+} , tandis que le rapport $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ s'accroît.

Le choix du rapport $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ comme repère de différenciation permet d'envisager le degré d'évolution des biotites fraîches en fonction de la différenciation géochimique des roches hôtes, celle-ci pouvant aussi se suivre géographiquement ; $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ augmente en allant des granites migmatitiques de la bordure

Sud : domaine des biotites des gneiss sur le diagramme de FOSTER ; aux granites porphyroïdes orientés puis enfin aux granites "albitisés" ; les valeurs de $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ tombent en bordure du domaine des pegmatites et des greisens.

4° - Biotites de la bande granitique Nantes-Parthenay

Fondée sur une sélection d'échantillons types, l'analyse des biotites séparées de la bande Nantes-Parthenay aboutit aux résultats regroupés dans le tableau 22 (Annexe).

Les biotites figurées dans le diagramme de FOSTER font l'objet de la comparaison suivante (Fig.21) ; elles sont classées par valeurs croissantes du rapport $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$:

$\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+} = 1$	----- biotites seules	= Type "Moulins"
$1 < \text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+} < 2$	----- biotites associées aux muscovites	= Granites de Bressuire et St Clémentin
$2 \leq \text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+} < 6$	----- biotites associées aux muscovites	= Granites "albitisés" de Neuvy Bouin et Parthenay
$\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+} = 6$	----- biotites associées aux muscovites	= Granite "albitisé" de Mortagne type "Commanderie"

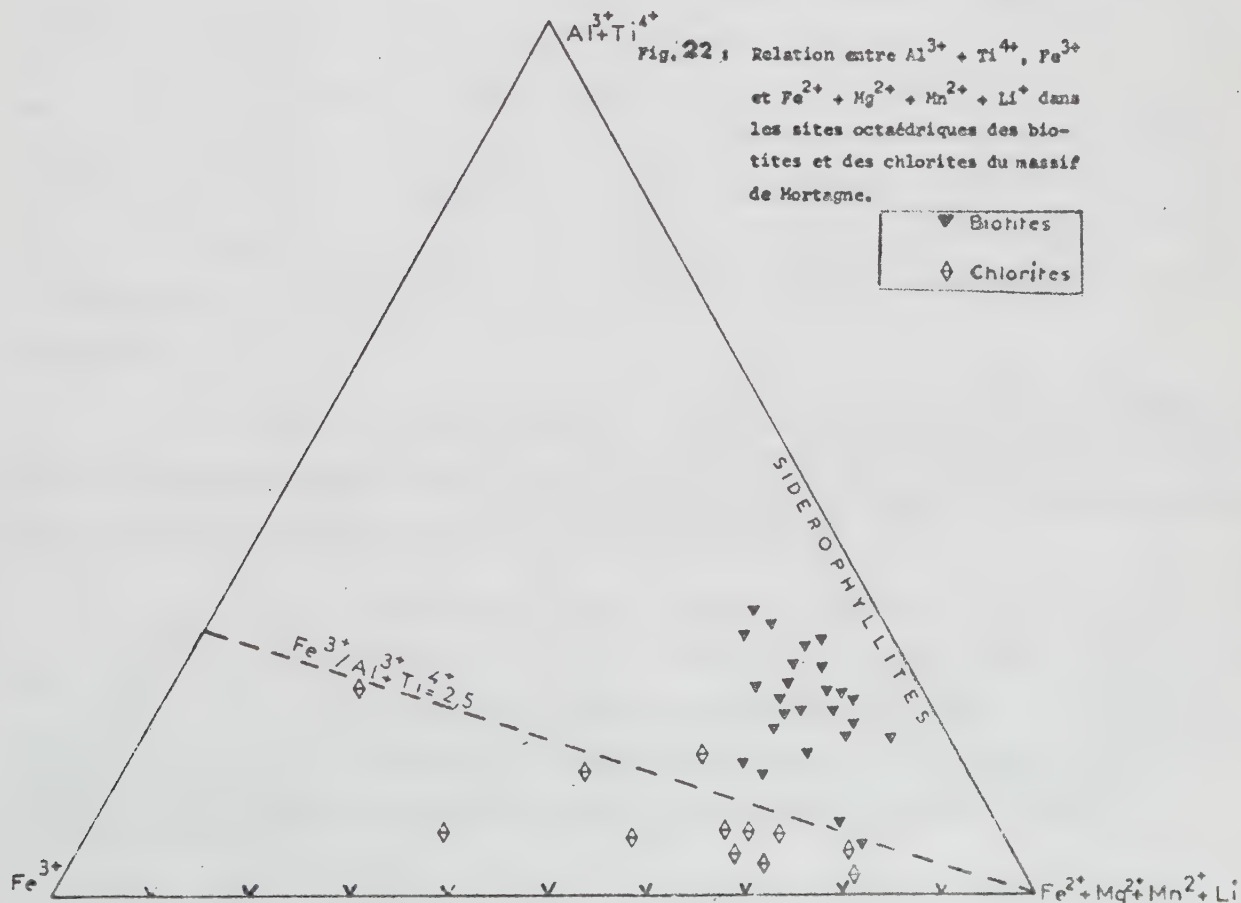
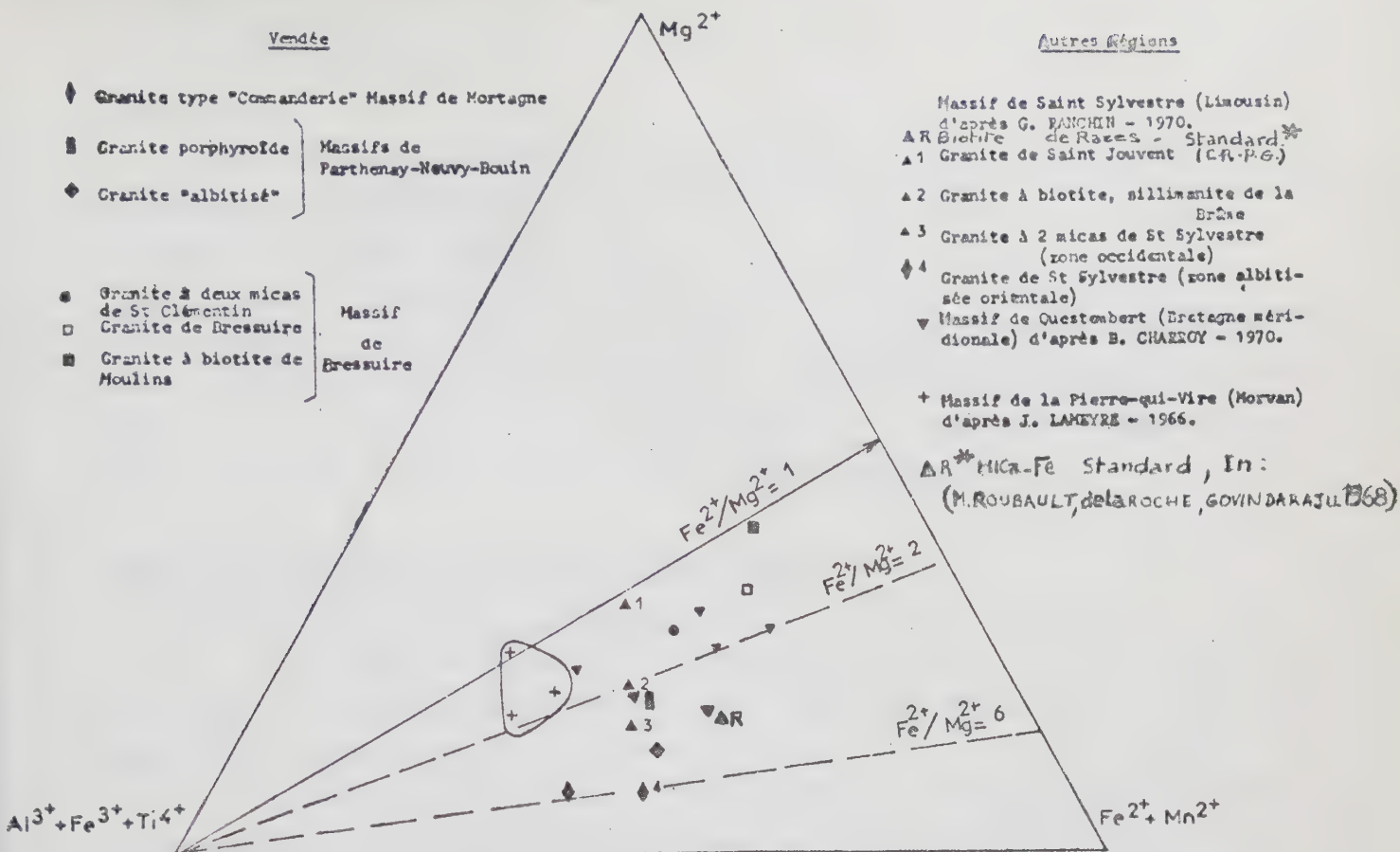
Considérant ce paramètre, les biotites provenant des massifs de Neuvy-Bouin, Parthenay, Mortagne apparaissent comme plus évoluées que celles des granites de Bressuire et de Moulins.

5° - Comparaison avec des biotites d'autres régions granitiques

Les biotites de quelques granites à deux micas des régions du Limousin, (massif de St Sylvestre), de Bretagne méridionale (massif de Questambert) et du Morvan (massif de la Pierre Qui Vire) sont figurées sur le diagramme de FOSTER (Fig.21).

Quatre biotites dont les analyses ont été extraites du travail de

Fig. 21 - Position de biotites granitiques dans le diagramme de Foster.



G. RANCHIN (1970) sur le massif de St Sylvestre présentent la même évolution vers les sidérophyllites que celles de Mortagne; de plus, les biotites provenant des zones "albitisées" de Mortagne et de St Sylvestre ont des compositions chimiques semblables.

En Bretagne méridionale, les biotites du massif de Questembert extraites du travail de B. CHAROY (1970) sont voisines des précédentes ; et elles présentent un rapport $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ proche de 2.

Dans le Morvan, trois biotites du massif de la Pierre Qui Vire étudié par J. LAMEYRE (1966), tombent dans un domaine tel que l'on ait : $1 < \text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+} < 2$

Elles diffèrent, semble-t-il, des autres biotites figurées par la dominance des ions trivalents sur les ions bivalents ; et sont plus éloignées du domaine des sidérophyllites que celles du massif de Mortagne.

F - COMPOSITION CHIMIQUE DES BIOTITES CHLORITISEES

1° - Modifications liées à la chloritisation

L'évolution chimique liée à la chloritisation des biotites apparaît sur les éléments majeurs (tableau 17) et d'après les formules structurales calculées sur la base de 24 anions.

Au cours de ce phénomène, l'élimination des métaux alcalins, (surtout le potassium) est compensée par l'introduction d'un poids équivalent en eau de constitution (1) : cette règle prévaut pour toutes les biotites prélevées en surface et en sondage ; elle s'illustre par la relation linéaire inverse (Fig. 23) : Perte au feu ou eau de constitution, $(\text{H}_2\text{O})^+$, en poids % = $1,04 \text{ K}_2\text{O} + 11,19$ qui dénote une corrélation hautement significative ($r = 0,97$) ; Compte tenu des poids moléculaires de K_2O et de H_2O , la relation de la figure 23 exprime que l'entrée de 5,3 ions OH^- dans le réseau de la biotite s'accompagne du départ d'un ion K^+ .

D'après les formules structurales calculées (tableau 19) on sait que la chloritisation d'une biotite nécessite, en moyenne, l'introduction de 6 ions oxyhydriles.

En définitive, la relation de la figure 23 exprime que le départ d'un ion K est compensé par l'apport de 5 ions OH^- . Par ailleurs, la relation (OH^- , F^-) de la figure 41 montre que : l'apport de 6 OH^- s'accompagne du départ d'un ion F^-

En somme, l'arrivée de 6 ions OH^- s'accompagne du départ d'un ion potassium et de l'expulsion d'un ion F^- par un ion OH^- ; les 6 ions OH^- forment avec un ion Mg^{2+} ou Fe^{2+} provenant de la couche octaédrique (y créant une position vacante et ainsi un déficit de 2 charges négatives - voir figure 25 -, un octaèdre de type brucite prenant la place d'un ion interfoliaire (Fig.24).

(1) - Il existe une coïncidence relativement satisfaisante entre la valeur de la perte au feu (P.F.) mesurée à 950 °C et le dosage en eau de constitution obtenu par voie chimique.

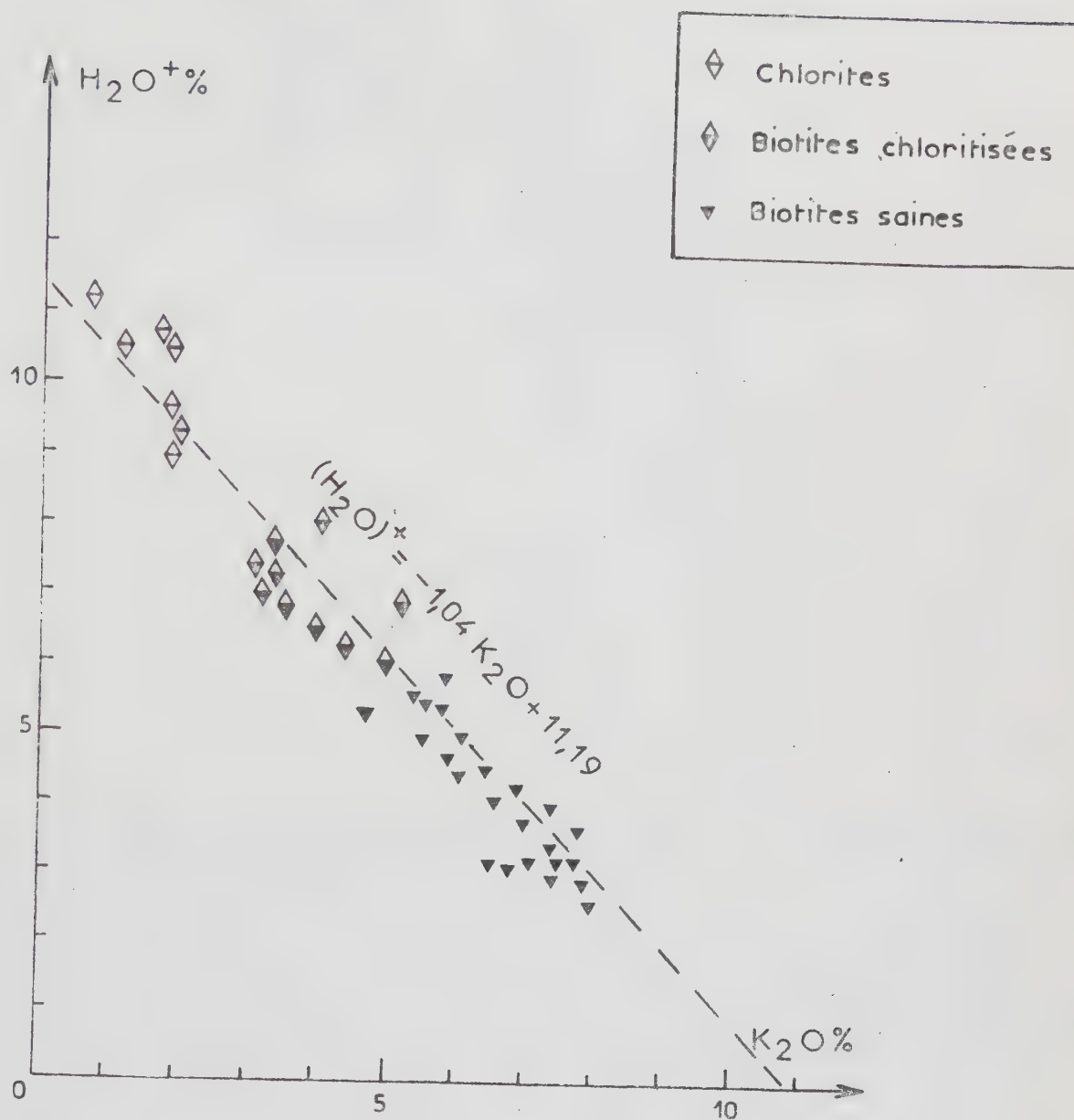
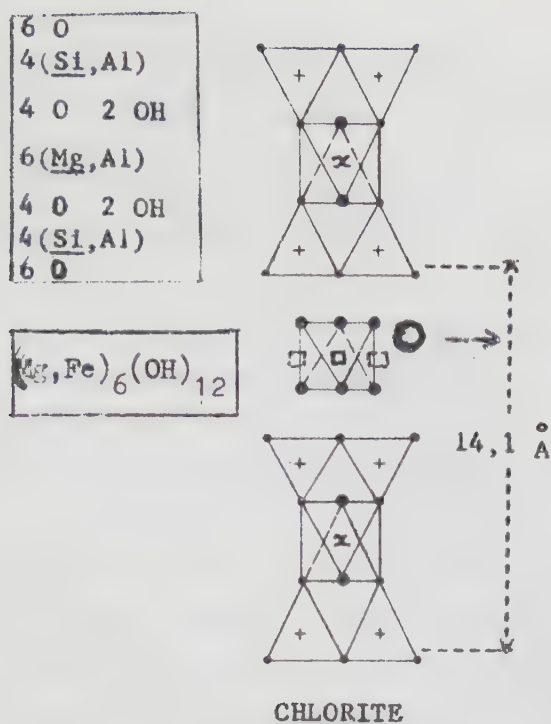


Fig. 23 : Relation linéaire H_2O^+ -f (K_2O) dans les biotites des massifs de Mortagne et Breceuil (Surface et Sondages) traduisant le degré de chloritisation.



LEGENDE

Si : +	Al : x	Mg : □
K : ○	OH : ●	O : •

Fig . 24 : Charpente silicatée théorique d'une chlorite . Cellule unitaire à 56 charges positives ou à 36 anions (O,OH).

N° ECH. 46		22	29 B	20	27	32
Si	6,21 8,00	6,18 8,00	6,12 8,00	6,20 8,00	6,36 8,00	5,90 8,00
Al	1,79 8,00	1,82 8,00	1,88 8,00	1,80 8,00	1,64 8,00	2,10 8,00
Al	2,89	3,74	3,37	3,24	3,44	3,22
Fe ³	4,30 9,23	3,75 9,22	4,24 9,15	4,26 9,06	4,33 9,00	4,73 9,01
Mg	2,04	1,73	1,54	1,56	1,13	1,06
O H	12,50	15,60	14,30	15,00	14,20	14,22
F	n.d.	0,06	0,20	0,12	0,24	0,12
Bilan des charges	- 0,14	-0,18	-0,12	-0,18	-0,08	-0,13

Tableau 23 : Formules structurales de biotites chloritisées de MORTAGNE, calculées sur la base de 36 (O,OH)

2° - Formules structurales des biotites chloritisées

Les principales modifications qui affectent la charpente silicatée des biotites sont :

- le départ d'un ion Si^{4+} de la couche tétraédrique,
- le départ d'un ion bivalent ou trivalent de la position octaédrique où $\text{Fe}^{3+}/\text{Al}^{3+} + \text{Ti}^{4+}$ demeure supérieur à 2,5 - (Fig.22).
- le départ d'un ion de la couche interfoliaire; le rubidium (1) suit le potassium (Fig.26).

Afin de calculer les formules structurales des biotites chloritisées, il s'est avéré nécessaire de retrancher le leucoxène, l'apatite et l'orthose virtuels de la biotite. Sur la base de 36 (O,OH) on obtient les formules du tableau 23 qui montrent que 2 à 3 positions octaédriques sont vacantes par rapport à la chlorite théorique.

Il s'agirait soit d'une interstratification de chlorites et de micas, soit d'un mélange de plusieurs phases et compte tenu des observations (page 35) et de la présence de ripidolite dans les roches du gisement de l'Ecarpière, il est probable que l'on ait affaire à des mélanges de ripidolite et de vermiculite dont les compositions globales se rapprochent de celles d'hydrobiotites en raison de la faible proportion de ripidolite (ou brunsvigite) (Fig.27), chlorites trioctaédriques classées par M.H. HEY (1954).

Il s'agit, pour couramment, de biotites partiellement chloritisées dont les formules structurales calculées sur la base de 24 anions seront utilisées pour suivre l'intensité de la chloritisation le long du profil VMR transversal au massif de Mortagne.

3° - Relations entre la chloritisation et la zonalité du massif de Mortagne.

Le degré d'évolution des biotites se manifeste le long du profil transversal au massif de Mortagne par la croissance du rapport $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ (zone albitisée), du nombre d'ions OH^- et du rapport $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ (zones chloritisées) avec une diminution concomitante du nombre d'ions interfoliaires et octaédriques (Fig.28, 29).

La chloritisation est particulièrement développée dans la moitié Nord du massif qui comprend la zone albitisée et les faciès laminés de bordure.

Il est probable que l'extension géographique de la chloritisation observée soit le résultat de la convergence entre un phénomène de type profond développé sur la bordure Nord de la zone albitisée et une évolution moins profonde mais non nécessairement supergène.

(1) On peut se poser le problème de la chloritisation commençante sur la signification des âges isotopiques obtenus par la méthode (Rb, Sr).

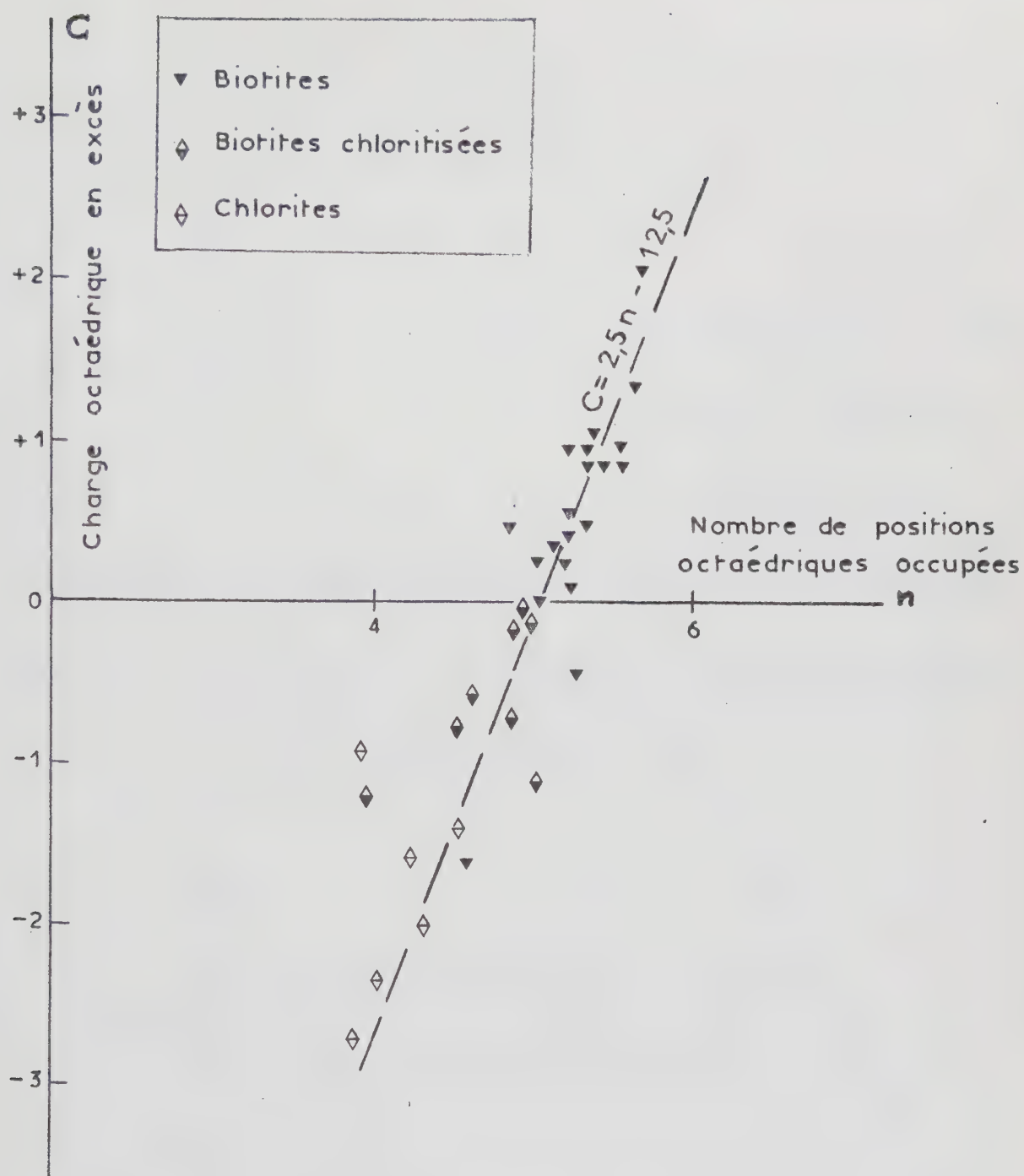


Fig. 25 : Relation entre le nombre des positions octaédriques occupées et la charge octaédrique en excès dans les biotites du Massif de Mortagne.

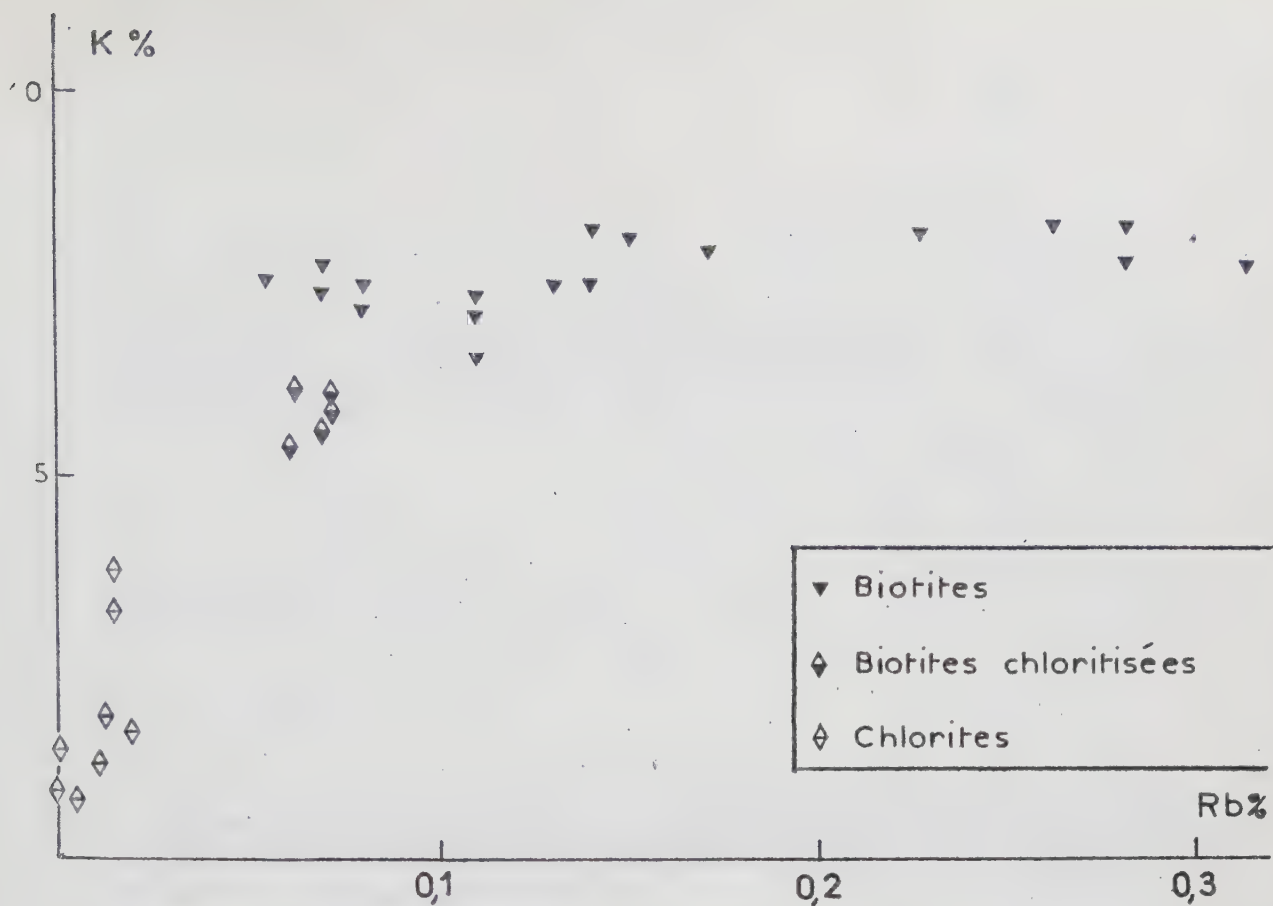


Fig. 26 : Variations de K et Rb au cours de la chloritisation au sein des

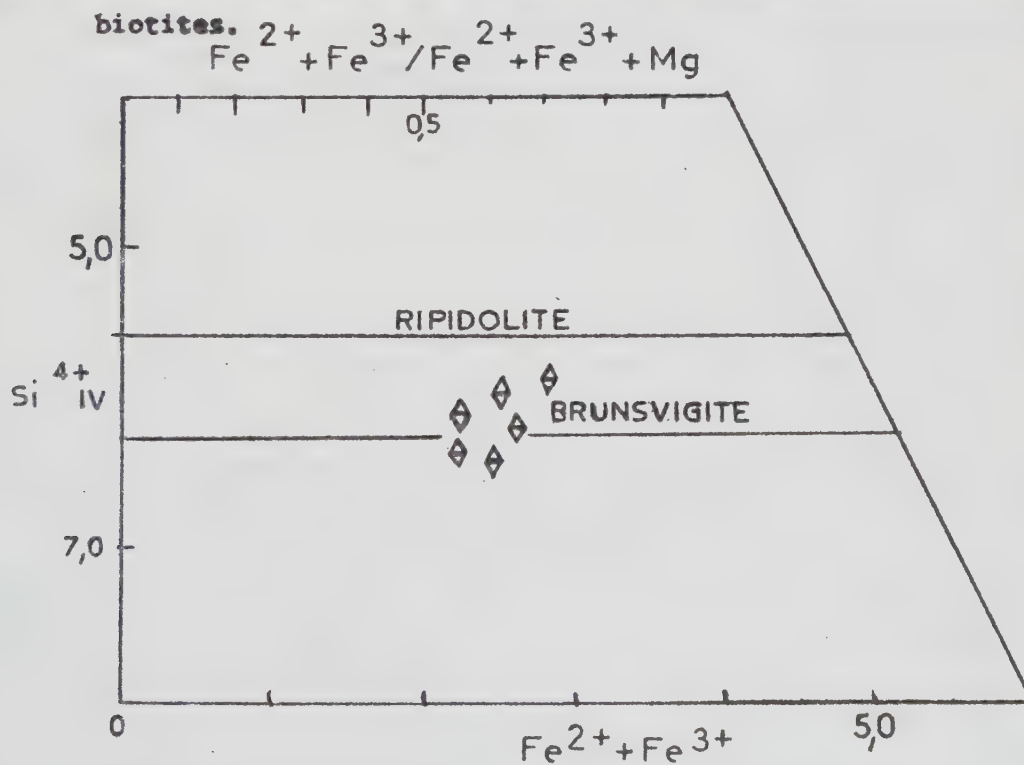
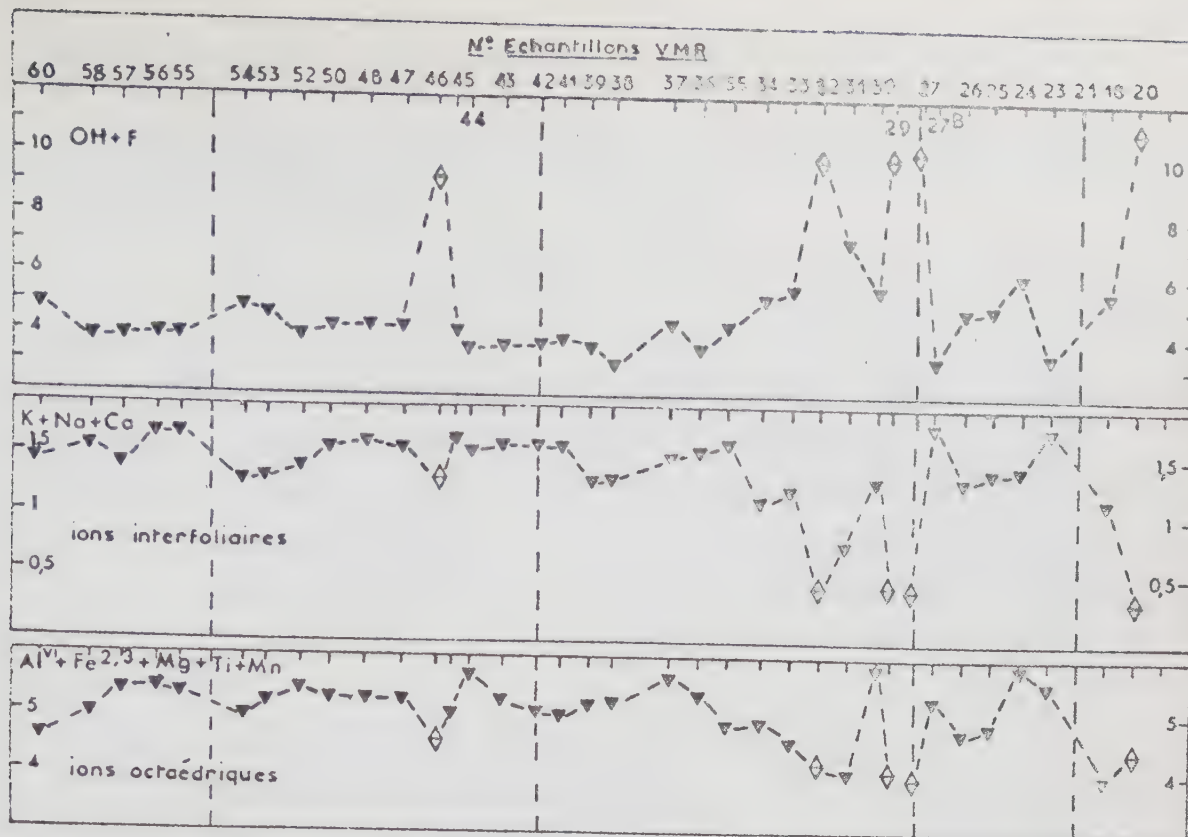


Fig. 27 : Position des biotites chloritisées de Mortagne dans le diagramme de HEY (1954)



28 Variations du nombre d'ions dans la cellule des biotites le long du profil AB, montrant la décroissance simultanée des charges octaédriques et interfoliaires, l'introduction d'oxydrides au cours de la chloritisation dans le massif de Mortagne.

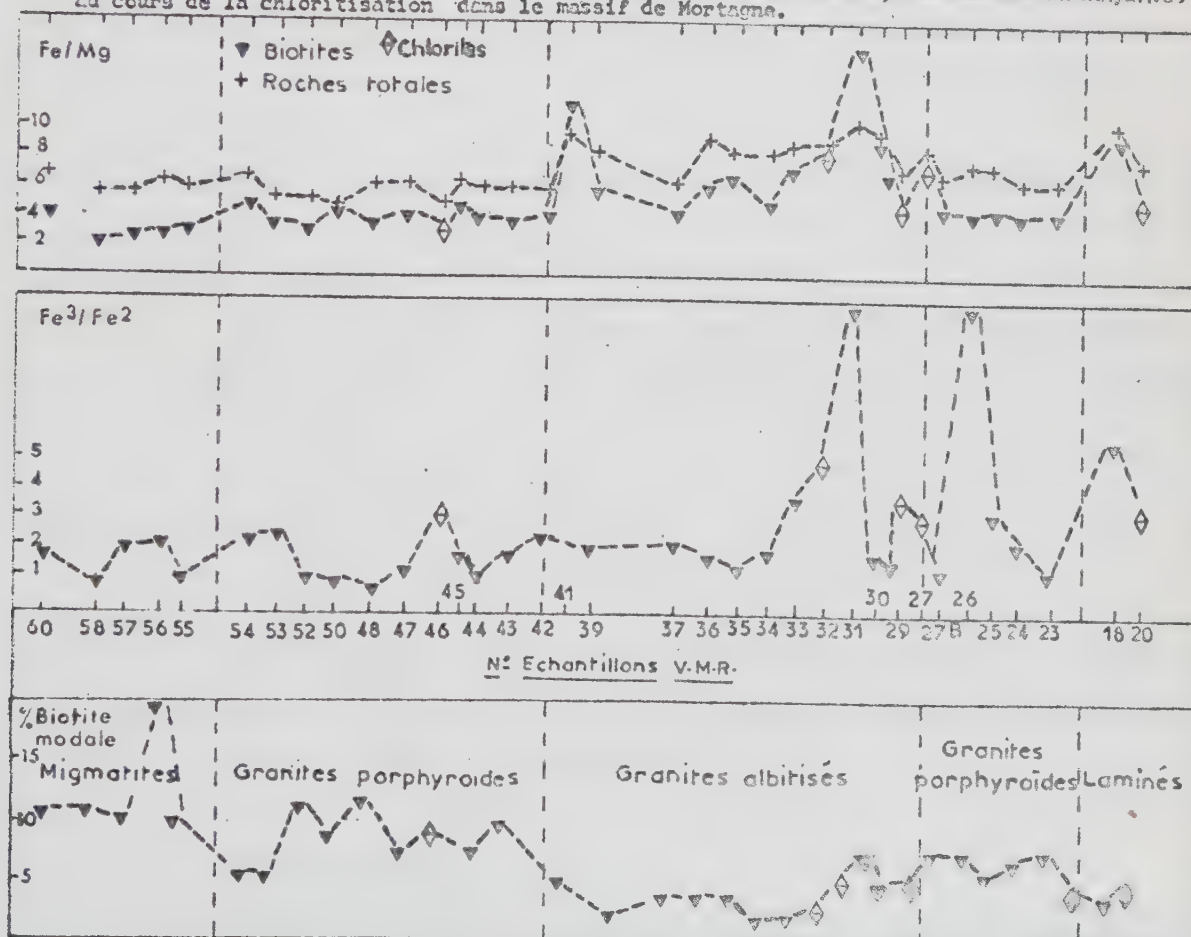


Fig.29 Evolution des rapports Fe/Mg et Fe³/Fe² dans le cadre de la paragenèse intragranitique du Massif de Mortagne.

qui se serait exercée plus activement dans les zones bordières laminées.

G - INCIDENCES DE L'ÉVOLUTION DES GRANITES SUR LA COMPOSITION DES BIOTITES SEULES OU ASSOCIÉES AUX MUSCOVITES.

Après la mise en évidence des évolutions chimiques discordantes des granites à biotite et des granites à deux micas de la bande Nantes-Parthenay, il s'est révélé utile d'en suivre les conséquences sur la composition des biotites au cours de l'évolution granitique majeure et ultime.

Des échantillons types de biotites proviennent des massifs suivants :

Granites à biotite : Moulins - Roussay - Renaudière.

Granites à deux micas : Bressuire - Neuvy-Bouin - Parthenay - Mortagne.

1° - Au cours de l'évolution granitique majeure

a) Biotites des granites à deux micas

L'étude du rapport $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ fournit un repère de la composition chimique des biotites et de leurs conditions de cristallisation.

Pour éliminer l'influence de l'oxydation supergène du fer, il s'avère préférable de choisir le rapport $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Mg}$ ou indice ferrifère comme l'ont fait plusieurs auteurs.

La croissance de l'indice ferrifère va de pair avec le degré d'évolution des granites à deux micas, dans le sens : Neuvy-Bouin Ouest Bressuire Parthenay et Mortagne.

Pour les biotites de Mortagne, les indices ferrifères s'élèvent de 0,75 à 0,90 dans le sens de la différenciation des roches vers l'albitisation. Ils sont en liaison avec les conditions de cristallisation ; les expérimentations de D.R. WONES, H.P. EUGSTER (1965) sur la biotite dans le système biotite, sanidine, hématite, montrent que d'après la courbe de stabilité de la biotite en fonction des paramètres (P, T, f H_2O , f O_2), l'indice ferrifère $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Mg}$ augmente au cours de la baisse de température de cristallisation.

Ceci suggère que les biotites du massif de Mortagne ont recristallisé à relativement basse température avec un réajustement final de la composition chimique du à la substitution isomorphique $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+}$

b) Biotites de granites à biotite

L'indice ferrifère est peu élevé et il demeure voisin de 0,55 dans les biotites analysées. Par contre, les rapports Si/Al et K /Na + Ca peuvent servir à caractériser le degré d'évolution des biotites au cours de la différenciation géochimique à caractère silicopotassique des granites à biotites (Tableau 24)

MASSIF		BRESSUIRE					ENCAISSANT NORD MORTAGNE					SENS D'EVOLUTION DES PARAMETRES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
GRANITES A BIOTITE		NOULINS					ROUSSAY					RENAUDIERE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
BIOTITES		CLEM 2					VMR 12					15 B					VMR 8					9					7					6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		34					35					37					36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Si/Al		1,63		1,76		1,91		1,84		1,89		1,92		1,93		2,09		2,13		55,00		0,51		0,56		81,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

Tableau 24 : Essai de comparaison des sens évolutifs des éléments dans les biotites seules ou associées aux muscovites, en fonction du degré de différenciation croissant des massifs.

Les variations des rapports Si/Al et $\text{K}/(\text{Na} + \text{Ca})$ sont opposées lorsque l'on compare les biotites seules avec les biotites associées aux muscovites. Ces dernières biotites présentent en effet une tendance alumineuse et une diminution du caractère potassique en liaison avec l'albitisation des roches et la chloritisation ultime.

2° - Relation entre la chloritisation des biotites et la tendance chimique des roches totales .

Les relations entre l'évolution chimique des roches et des biotites au cours de la chloritisation ont été étudiées sur le profil transversal au massif de Mortagne ; un diagramme (Si , K , Na , Ca) va permettre de suivre les déplacements parallèles des points figuratifs des roches et des biotites séparées, dérivées consécutives au verdissement des biotites. (Fig.30) : la perte du potassium dans les biotites au cours de leur chloritisation se traduit par un déplacement relatif des roches totales et des biotites vers le pôle silico-sodique.

La perte en potassium subie par la roche totale peut être imputée aussi au remplacement du potassium par le sodium au cours de l'albitisation du feldspath potassique; il faut donc se garder d'attribuer une signification rapportée aux seules biotites des variations du potassium des roches totales. Toutefois, l'observation de la tendance silicosodique du granite à biotite de Roussay peut s'interpréter par le fait que la chloritisation des biotites y provoque une perte de potassium expliquant le décalage du paramètre $\text{K} - (\text{Na} + \text{Ca})$ des roches vers le pôle sodique. En définitive, une étude limitée au degré de chloritisation des biotites donnerait une appréciation indirecte mais relativement précise de l'évolution silicosodique des roches totales.

H - CONCLUSION

Un certain nombre de faits mettent en lumière l'influence de l'évolution granitique sur la composition des minéraux phylliteux.

Au cours de la phase majeure de sodification du massif de Mortagne, les biotites tendent vers des sidérophyllites, biotites ferrifères et alumineuses rencontrées dans les greisens d'autres régions. Cette évolution chimique est repérée par l'indice ferrifère $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$; son augmentation est liée à une décroissance de la température de cristallisation d'après les expérimentations de WONES et EUGSTER (1965).

Au cours de l'évolution dsilicopotassique majeure des granites à biotite de Moulins, Roussay, la Renaudière, le caractère ferrifère demeure constant ; la tendance siliceuse et potassique des biotites est due au départ des ions Ca^{2+} et Al^{3+} en accord avec l'évolution chimique des roches totales.

La phase ultime des processus autométamorphiques se manifeste par un

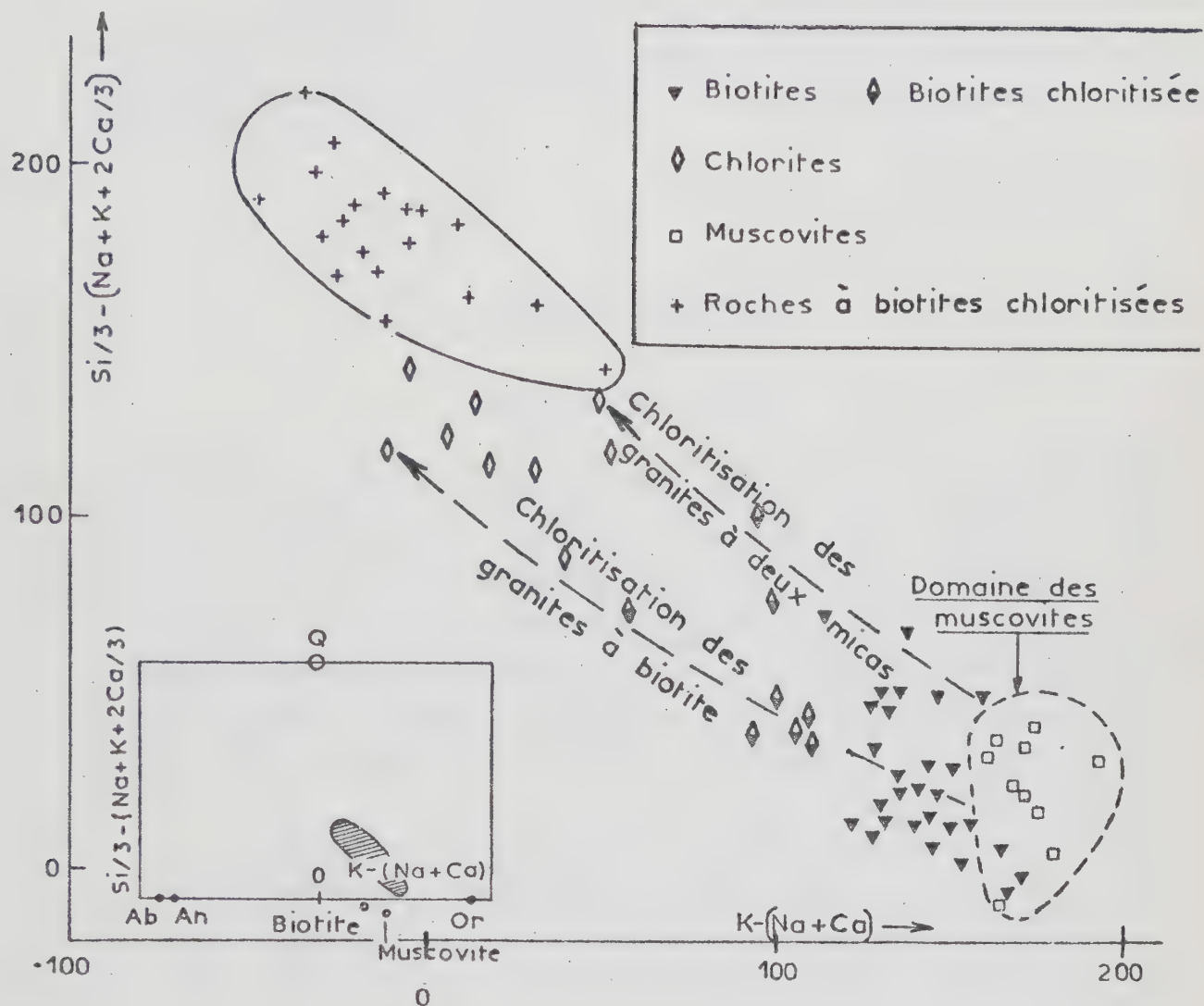


Fig. 30 : Domaine des minéraux phylliteux dans le diagramme de H. de la ROCHE. La chloritisation se traduit pour les roches totales par un déplacement général des points figuratifs convergents avec le phénomène d'albitisation.

apport d'ions oxhydriles et un départ de métaux alcalins dans les deux groupes de biotites envisagées ; ces variations traduisent la chloritisation qui est accompagnée d'une oxydation du fer.

La muscovitisation des biotites, phénomène brutal dans les zones tectonisées du massif de Mortagne, libère le fer, le magnésium et le titane, et nécessite l'apport d'aluminium provenant sans doute de l'albitisation, et d'ions oxhydriles. Les muscovites sont peu ferrifères et constituent un groupe homogène.

La sélection des indices d'éléments majeurs $Fe/Fe + Mg$, Si/Al , $K/(Na + Ca)$, Fe^3/Fe^2 serviront à repérer l'évolution majeure et ultime des biotites de Mortagne afin de suivre le comportement endogène de l'uranium en traces et d'autres éléments dans ces phyllites.

/ TROISIEME CHAPITRE /

GEOCHIMIE DE L'URANIUM

Ce chapitre est consacré à l'étude des teneurs en uranium et aux formes minéralogiques que prend cet élément dans les roches granitoïdes des massifs vendéens (bande Nantes-Parthenay), particulièrement celui de Mortagne.

Les travaux antérieurs seront confrontés aux faits acquis sur le comportement géochimique de l'uranium au cours de l'évolution granitique, puis des processus autométamorphiques et d'altération supergène, on y intégrant chaque fois le rôle des supports minéralogiques de l'uranium.

Trois domaines géochimiques se succèdent dans l'étude :

- distribution des teneurs en uranium dans les roches
- nature et répartition des minéraux accessoires
- teneurs en uranium des minéraux phylliteux.

I - L'URANIUM DANS LES ROCHES

Les principaux résultats géochimiques, relatifs à l'ensemble des massifs vendéens ayant fait l'objet d'une publication (J.P. RENARD 1970) , l'enseignement tiré des échantillonnages de fond (sondages ou travers bancs miniers) et de surface sera dégagé à l'échelle de la bande Nantes-Parthenay, puis du massif de Mortagne.

Le mode de localisation de l'uranium dans les roches est connu par la répartition de la radioactivité alpha dans les autoradiographies ; la radioactivité alpha peut être ponctuelle ou diffuse :

- en zones saines de surface et de profondeur

L'uranium forme ses minéraux automorphes, uranites opaques et se localise dans des minéraux transparents.

- en zone fissurée et en surface

Les traces d'uranium se localisent dans les fissures tapissées d'autunite, d'oxyde de fer, ainsi que dans les minéraux essentiels et sur leurs produits d'altération (hématite-chlorite, argiles).

- dans les caisses minéralisées

L'uranium se concentre, jusqu'à une distance hectométrique des filons sous forme de filonnets de pechblende, sillonnant la roche hématisée et fracturée et de pyrites radioactives.

Il importe d'estimer à leur juste proportion le stock géochimique des granites et les remaniements touchant les formes minéralogiques "primaires" de l'uranium avant d'interpréter les variations de teneurs. L'étude des minéraux uranifères sera donnée après l'étude des teneurs dans les roches profondes et de surface.

A - DISTRIBUTION DES TENEURS EN URANIUM EN SONDAGES DANS LA BANDE GRANITIQUE DE NANTES-PARTHENAY.

Quatre sondages profonds, effectués en carottage continu de 50 m à 200 m et implantés dans les granites de la bande Nantes-Parthenay ont permis d'approcher la "teneur fond" ou teneur moyenne en uranium obtenue sur les échantillons "sains" définis par les critères suivants :

- absence d'autunite décelable aux rayons ultra-violet
- absence de radioactivité alpha fissurale
- perte au feu indépendante de la profondeur relative des échantillons (en général perte au feu (P.F.) au fond < P.F. moyenne de surface = 1,3 - 1,5).

1° - Massif de Bressuire.

Les deux sondages implantés sont celui de Bressuire (granite à deux micas à gros grain) et celui de La Coudre (granite à deux micas à grain fin et granite à biotite de -33 à - 50 m).

Les résultats des dosages en uranium sont regroupés dans le tableau 25. Ils font apparaître des coefficients de variation σ/m légèrement supérieurs à l'erreur analytique ($\sigma/m = 0,07$), cependant, ils sont tous compris entre 0,17 et 0,20. (Tableau 25)

Les granites à deux micas de Bressuire et à biotite de Moulins présentent des teneurs moyennes voisines de 7 $\mu\text{g/g}$.

Massif	Mortagne	Bressuire			Mortagne
Sondage	Le Grand Bois	Bressuire	La Coudre		Le Cottereau
Nb d'échantillons	30	43	33	21	30
Pétrographie	Granite à muscovite	Granite à deux micas Gros grain Grain fin		Granite à biotite	Granite à 2 micas
U_t m :	20,4	7,3	10,2	7,4	15,0
σ :	1,39	1,46	1,86	1,29	3,3
σ/m	0,07	0,20	0,19	0,17	0,22
U_f m :	13,0	4,6	6,5	3,6	non
σ :	0,97	1,4	1,29	1,28	déterminé
U_f/U_t :	0,65	0,63	0,65	0,48	

Tableau 25 : Teneurs géochimiques en uranium total (U_t) et fixé (U_f) dans les sondages effectués sur des granites vendéens.
m : moyenne statistique (en $\mu\text{g/g}$), σ : écart type.

Les différences de teneurs enregistrées entre les granites à grain fin (type St Clémentin) et les autres granites de Bressuire sont hautement significatives, comme le montre l'application du test statistique de Student-Fisher à ces moyennes.

La variable $t = (m_1 - m_2) / \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$ (m_1, m_2 : moyennes des teneurs en uranium, n_1, n_2 : nombres d'échantillons dans les populations 1 et 2) prend la valeur 7,7 qui est largement supérieure au seuil de significativité pour $\alpha = 0,001$

Par conséquent, le granite de St Clémentin représenterait le terme le plus uranifère du massif de Bressuire.

2° - Massif de Mortagne

L'implantation par le C.E.A. de deux sondages profonds (200 m environ) l'un dans le secteur de la Commanderie (granite "albitisé") l'autre dans la région du Cottereau (granite porphyroïde à biotite dominante) a permis d'approcher les teneurs "fond" des granites à deux micas., environ 20 $\mu\text{g/g}$.

La différence entre les teneurs moyennes en uranium total des deux sondages est hautement significative comme en témoigne la valeur prise par la

variable statistique t soit 7,6 donc supérieure à t ($\alpha = 0,001$).

Ces quelques données réunies témoignent d'importantes variations "primaires" entre les teneurs moyennes en uranium de types pétrographiques bien individualisés ; on s'attachera à étudier les distributions de teneurs dans le massif de Mortagne en fonction de :

- la profondeur dans les sondages et encaissements miniers
- la zonalité pétrographique et géochimique, en surface des granites.

Les teneurs géochimiques en uranium y sont particulièrement élevées par rapport à tous les autres granites de la bande Nantes-Parthenay.

B - DISTRIBUTION DE L'URANIUM DANS LES ROCHES DE MORTAGNE

1° - Variations avec la profondeur

Les faits recueillis sont les suivants :

a) Le sondage GRB implanté à proximité du gisement de la Commanderie présente :

- une zone superficielle où apparaît une dispersion due à la remobilisation de l'uranium primaire (uraninite) en partie probablement reconcentrée sous forme d'autunite.

- une zone saine où les fluctuations des teneurs n'excèdent pas l'écart analytique ($\sigma/m = 0,07$)

- une zone caractérisée par des altérations du type endogène (chlorite, séricite, muscovite, hématite) où les teneurs varient plus fortement (de 8 à 25 $\mu\text{g/g}$).

C'est une zone cataclasée profonde, dépourvue d'autunite.

Les variations avec la profondeur semblent être influencées autant au voisinage de la surface qu'en profondeur dans les zones fracturées ; ces variations ne sont pas nettes (J.P. RIENARD 1970 - page 177)

b) Dans le sondage du Cottereau, les fluctuations enregistrées dans les teneurs sont liées à l'asénisation des granites, car dans les passées arénisées la teneur en uranium s'abaisse à 4 $\mu\text{g/g}$.

c). Pour estimer l'effet de l'altération, terme pris au sens large (géomorphologique ou météorique profonde) quelques échantillons ont été prélevés à l'aplomb de deux gisements pour comparer leurs teneurs en uranium aux teneurs fonds évaluées dans les échantillonnages des travers bancs miniers.

Les teneurs connues à l'aplomb des gisements de l'Ecarpière et de la Commanderie sont soit supérieures soit inférieures à celles des échantillonnages

"Fond" correspondants. (tableau 26)

GISEMENT ECHANTILLONS	ECARPIERE			COMMANDERIE		
	n	n	σ^2	n	n	σ^2
(1) SURFACE	18,8	8	10,7	28,0	4	6
(2) FOND	26,9	48	117	20,5	62	74
VALEUR DE t (1), (2)	2,0			2,11		

Tableau 26: Teneurs en uranium des roches provenant du fond . Comparaison avec la surface (Aplomb des gisements)

Une comparaison par la méthode statistique des petits nombres permet de voir si ces différences sont significatives :

L'estimation des variances communes de (1) et (2) donne $\sigma^2 = (n_1 V_1 + n_2 V_2) / (n_1 + n_2 - 2)$; l'estimation optimale de l'erreur type de la différence des moyennes des deux échantillons (1) et (2) est, d'après MORONEY M.J. (1970)

$$\sigma_m = \sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

La variable t de Student est alors calculée par la formule :
 $t = \frac{\text{Différence des moyennes}}{\text{Erreur type de la différence}}$, puis comparée à la valeur donnée par la table pour le seuil de probabilité choisi.

Le résultat des calculs montre que les différences observées ne sont que faiblement significatives au seuil de probabilité 95 % : $(t(\alpha = 0,05) = 2,0)$

Il n'apparaîtrait pas de diminution systématique de la teneur en uranium des roches à l'aplomb des gisements de l'Ecarpière et de la Commanderie par rapport au fond géochimique évalué en zone profonde .

Ceci ne permet pas d'attribuer, dans ces exemples, une influence précise à l'altération géomorphologique sur les teneurs en uranium.

Les faits conduisent aux remarques suivantes :

- Existence de teneurs moyennes "Fond" en uranium, élevées et comprises entre 16 et 27 $\mu\text{g/g}$

- Absence de variation systématiques avec la profondeur ; cette hypothèse se trouve confirmée dans un autre sondage profond de 230 m où M. ROUBAULT et R. COPPENS (1961) n'ont pas trouvé de relation simple, ni de différences nettes de teneurs en uranium total entre la surface et la zone profonde.

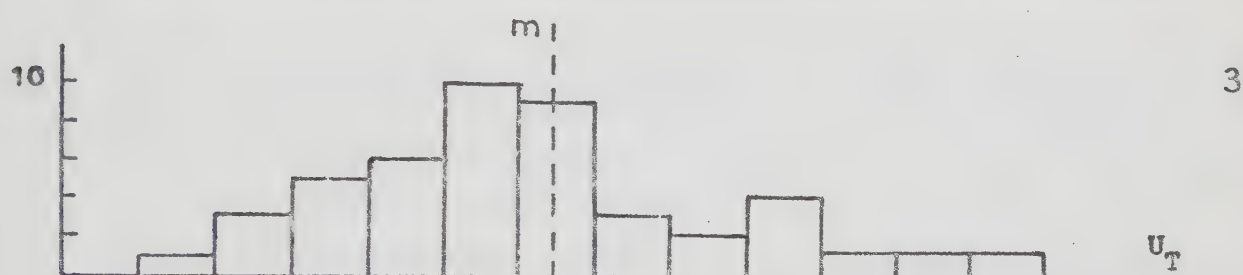
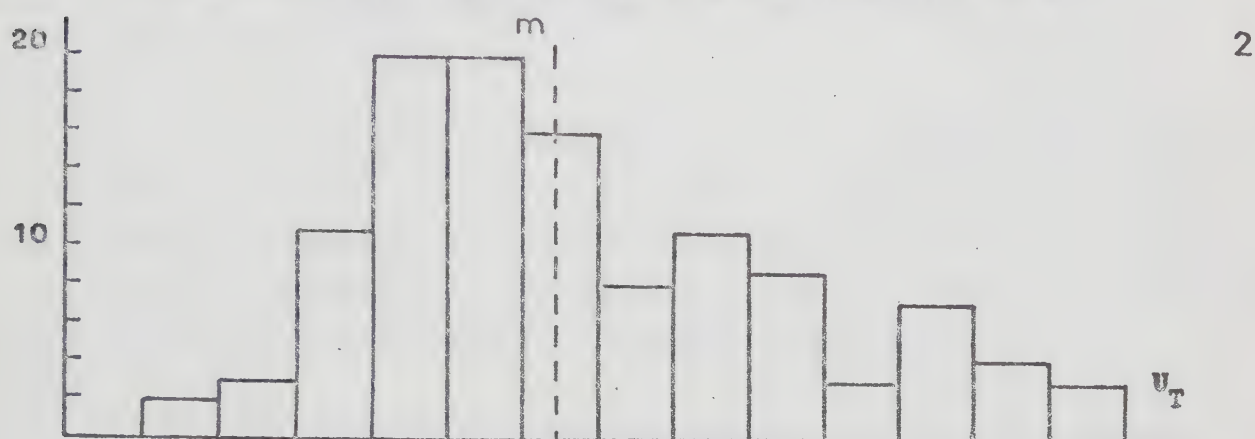
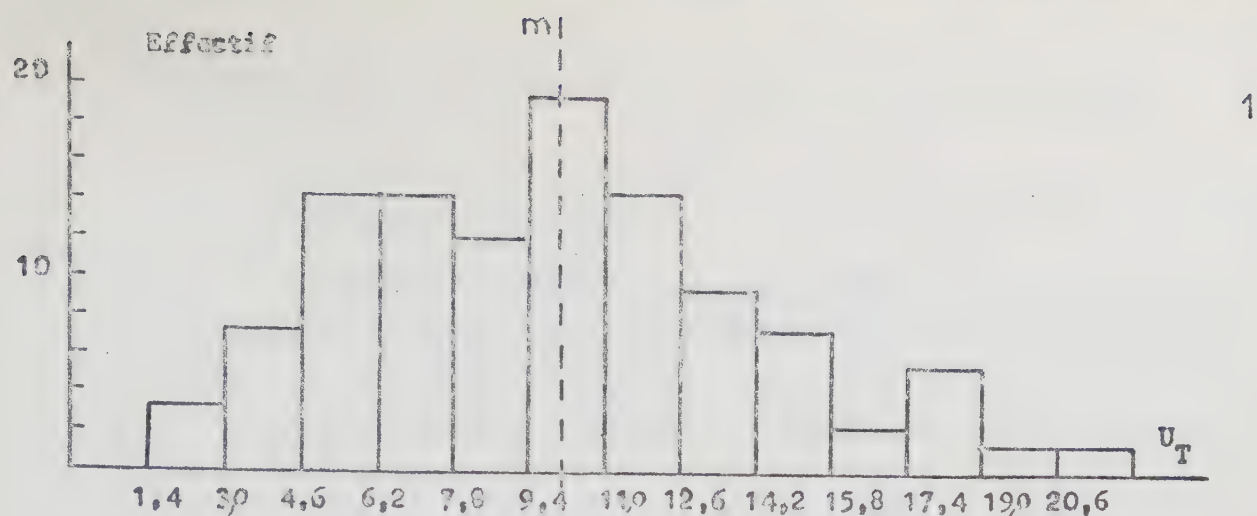


Fig. 31 : Distribution des teneurs en uranium total d'après trois échantillonnages de surface du Massif de Montagne.

Echantillonnage	VENDEE 1	CAV A 2	VMR 3
Nature et Maille	Sondages courts Maille carrée 500 m	Surface, maille non orientée	Profil transversal au Massif. Maille 500 m
Nombre d'échantillons	110	116	46
Moyennes statistiques m des teneurs en U Total	9,6	9,9	9,7
Ecart type σ	4,0	4,6	3,8
Coefficient de varia- tion σ/μ	0,42	0,49	0,39

Tableau 27 : Comparaison des teneurs moyennes en uranium total dans les roches de surface du Massif de Montagne.

2° - Estimation de la distribution des teneurs en uranium en surface

Cette estimation a été étudiée à partir de trois échantillonnages de surface sur le massif de Mortagne ;

- Campagne M. ROUBAULT R. COPPENS (1960) : Série de sondages courts implantés aux noeuds d'une maille carrée (500 m) suivant une bande transversale à la partie S.E. du massif.

- Campagne CAV.A (1965-1966) : Prélèvements suivant une maille non orientée (5km^2 en moyenne).

- Campagne VMR (1970) : Profil SO-NE transversal au niveau de la partie renflée du massif.

Les teneurs moyennes obtenues sur ces échantillonnages sont données dans le tableau 27 , tandis que la figure 31 montre que la distribution statistique des teneurs ne répond pas d'une loi simple (tendance à la dissymétrie positive et à la binodalité qui serait attribuable à l'action de plusieurs facteurs : zonalité du massif, remaniements, endogènes et supergènes'.

a) Comparaison statistique des variances

. Les variances des populations 1, 2, 3 sont d'abord comparées à l'erreur analytique indicée a (étalon G.U. ma = $20,2 \mu\text{g/g}$; $\sigma_a = 1,39$; $n = 30$).

Le rapport de Snédécour est formé : $F_{1,2} = \sigma_1^2 / \sigma_2^2$ ($\sigma_1 > \sigma_2$)

La table de Snédécour donne pour $\alpha = 5 \%$, $F_\alpha = 1,6$.

Les variances des populations 1, 2, 3 sont supérieures à l'erreur analytique

. Les variances de 1, 2, 3 sont comparées entre elles :

Il vient $F_1 = 1,32$; $F_{1,3} = 1,05$; $F_{2,3} = 1,47$

La table de Snédécour donne $F \leq F_{(\alpha = 0,05)}$ pour les trois variances comparées ; elles ne présentent donc pas d'écart significatif au seuil de probabilité choisi.

Il en découle que la variabilité des teneurs dans les trois échantillonnages présentés n'est pas imputable à l'erreur analytique et que les variances peuvent être considérées comme semblables.

b) Comparaison des teneurs moyennes en uranium

Le calcul des valeurs prises par la variable t de Student dans le test de comparaison des moyennes prises deux à deux donne :

2	0,52	
3	0,85	0,46
	1	2

$t_{1,3}$; $t_{2,3}$; et $t_{1,2}$ sont inférieures à

$t_{\alpha} = 1,64$ pour $\alpha = 0,01$

- Les moyennes respectives de ces trois populations d'échantillons ne montrant pas de différence significative au seuil de 1 % d'après l'application du test d. Student-Fisher.

Il découle de ces deux calculs: que l'influence de l'altération supergène sur les teneurs en uranium serait la même sur des échantillons de surface prélevés en zone saine que sur des carottages courts ; seuls des sondages profonds de 50 à 300 m sont démonstratifs, pour l'étude de l'altération,

- que pour étudier les variations de l'uranium dans le cadre de la zonalité du massif, on pourrait choisir l'un des trois échantillonnages. Il est préférable d'utiliser le profil VMR, car il recoupe les structures majeures du massif au niveau de sa partie renflée.

A la surface du massif, les teneurs varient de 1 à 25 $\mu\text{g/g}$ d'uranium total. La teneur moyenne atteint 10 $\mu\text{g/g}$. Située au dessus de 6 à 7 $\mu\text{g/g}$ (teneur moyenne des granites vendéens), elle dénote un caractère anormalement uranifère ; comme l'ont montré les autoradiographies, ceci est du à la présence d'inclusions microscopiques d'uraninite étudiées par la suite dans les lames minces de surface, et de sondages.

C - VARIATIONS DES TENEURS EN URANIUM et THORIUM DANS LE CADRE DE LA ZONALITE DU MASSIF DE MORTAGNE.

Dans l'ensemble, la qualité de l'échantillonnage de surface permet d'assigner à celui-ci une représentativité suffisante par suite de similitude probable à quelques $\mu\text{g/g}$ près, entre les teneurs de surface et celles observées en zone profonde.

Un profil de 35 km transversal à la structure générale du massif va montrer l'influence des facteurs pétrographiques et tectoniques sur la teneur en uranium et thorium d'échantillons peu altérés (P.F. < 2,00) qui recèlent des minéraux uranifères et thorifères primaires. (Fig.32)

1° - Uranium

La distribution de l'uranium dans les roches totales (tableau 28) apporte les faits suivants

- La teneur en uranium total s'accroît de 2 à 15 $\mu\text{g/g}$ lorsque l'on passe

COUPE TRANSVERSALE DU MASSIF DE MORTAGNE ET DE SON ENCAISSANT

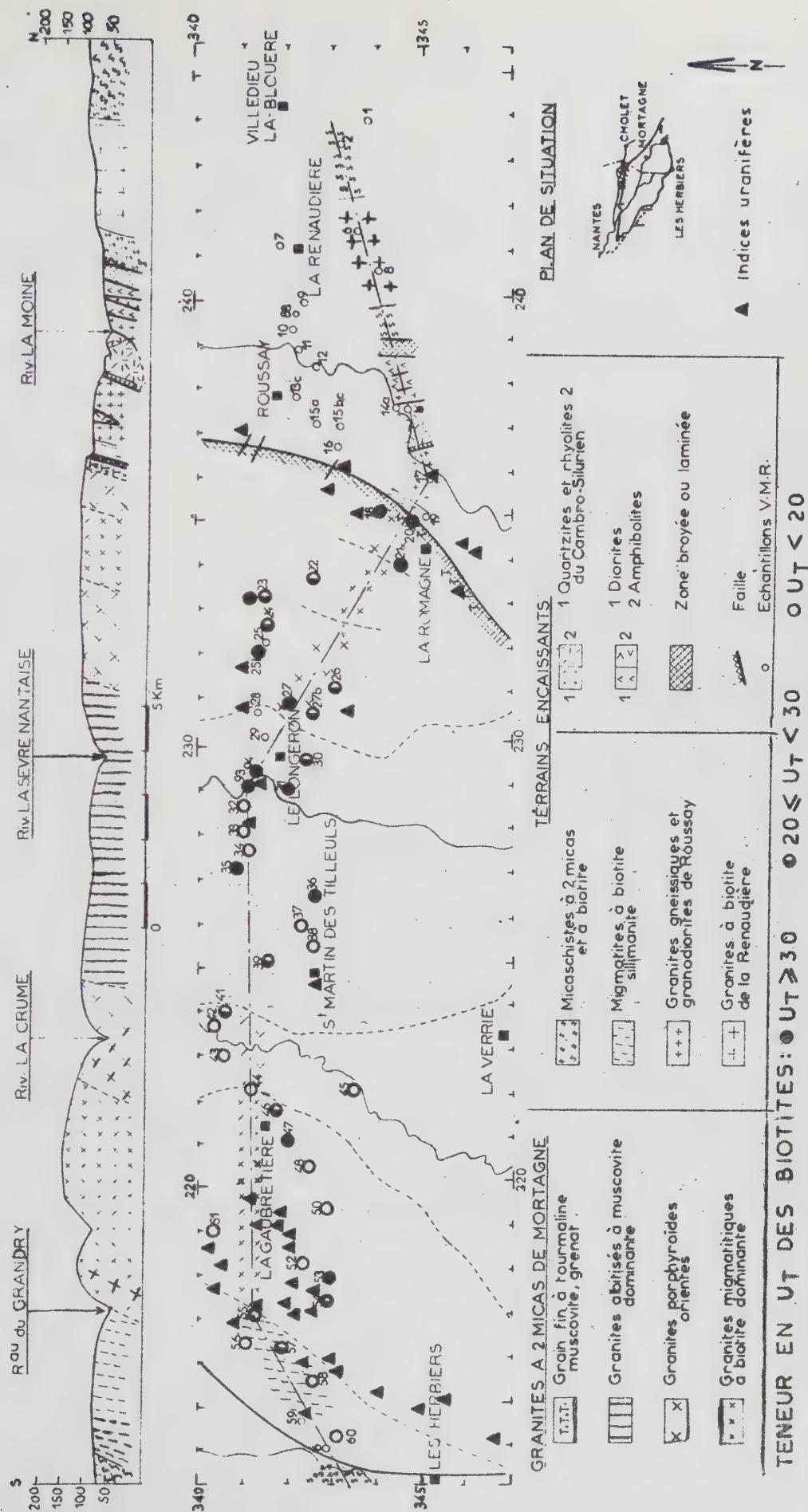


Fig 32 Profil d'échantillonnage V.M.R. Position des indices uranifères. Teneurs en U des biotites

	n	PS/g	U_T/U_F	Th ($\mu\text{g/g}$)	Th/U
<u>Encaissant Sud</u>					
Micaschistes	3	2	nd	5,4 - 8,2 (7)	3,5
<u>Massif de Mortagne</u>					
Migmatites des Herbiers	6	6,8	1,49	13,2 - 113,6 (44,6)	6,5
Granites à grain fin	7	7,9	1,58	nd	
Granites porphyroïdes, orientés	15	12,3	1,70	17,4 - 101,2 (38,8)	3,1
Granites "albitisés"	7	13,4	2,13	2,5 - 14,1 (6,4)	0,5
Granites à grain fin	7	8,9	2,10	nd	
Granites cataclasés	4	5,0	1,59	5,5 - 11,5 (9,3)	1,8
Aplites à tourmaline	4	4,4	1,54	2,5	0,5
<u>Encaissant Nord</u>					
Granite à biotite de Roussay	4	4	nd	5,5 - 18,1 (11,4)	3,0
Granite à biotite de la Renaudière	4	15	nd	43,1 - 90,6 (61,1)	4,0

Tableau 28 : Teneurs en Uranium et Thorium dans le massif de Mortagne et son encaissant dans les roches de surface (Profil V M R)

n : nombre d'échantillons

U_T : Uranium total ($\mu\text{g/g}$)

U_F : Uranium fixé ($\mu\text{g/g}$)

Th : Thorium moyennes arithmétiques entre parenthèses ($\mu\text{g/g}$)

nd : non déterminé

de l'encaissant (micaschistes à séricite-chlorite) aux gneiss et migmatites des Herbiers.

- Les teneurs fluctuent entre 15 et 10 $\mu\text{g/g}$ dans la zone des granites porphyroïdes orientés à deux micas associés aux granites à grain fin qui contiennent des récurrences gnoissiques.

- Le laminage de ces granites "muscovitisés" au Sud de St Martin-des-Tilleuls s'accompagne d'une chute des teneurs de 15 à 5 $\mu\text{g/g}$. Ceci rejoint une constatation identique faite par P. BAILLET (1964)) dans la région de la Chapelle Largeau.

- Les teneurs fluctuent de 5 à 20 $\mu\text{g/g}$ à proximité de l'indice du Longeron. (1) Ce pic relativement élevé paraît être entouré de teneurs (2-4 $\mu\text{g/g}$) qui sont inférieures à la moyenne générale du massif (10 $\mu\text{g/g}$).

- Les teneurs en uranium des granites porphyroïdes au Nord du Longeron sont comparables à celles des granites homologues de la Gaubretière dans la partie Sud du profil.

- Les fluctuations des teneurs enregistrées dans la bordure Nord laminée du massif rappellent celles du secteur du Longeron. Les aplites orientées au contact Nord faillé dans la région de la Romagne sont plus pauvres : 4 $\mu\text{g/g}$.

- Au Nord de la faille de contact avec l'encaissant, les granites migmatitiques de Roussay et granodiorites associées ne contiennent seulement que 2 à 5 $\mu\text{g/g}$ d'uranium total.

- Le granite intrusif à biotite de la Renaudière - la Colle possède des teneurs élevées : 15 à 25 $\mu\text{g/g}$ qui contrastent fortement avec celles plus faibles de l'encaissant micaschisteux (2 $\mu\text{g/g}$ d'après le tableau 28)

La fraction d'uranium non fixée s'accroît en fonction de l'uranium total suivant une loi semblable à celle mise en évidence par R. COPPIENS (1966)

(Fig. 33) ; le rapport U_T/U_F est élevé dans les zones d'indices minéralisés. L'enrichissement en uranium facilement mobilisable est probablement le résultat d'une évolution minéralogique complexe, entraînant un excédant d'uranium non fixé, qui peut dépasser en quantité, la fraction liée à la composition originelle du granite.

2° - Thorium et rapport Th/U

Les micaschistes encaissants accusent une nette diminution du thorium par rapport aux migmatites des Herbiers, par contre, entre ces dernières et les granites à deux micas, la similitude des teneurs en thorium vient renforcer l'hypothèse de l'héritage du massif de Mortagne, au niveau de la zone des

(1) Le terme "indice est pris dans le sens d'anomalie radioactive supérieure à 150 C/s A.V.P. ou de minéralisations uranifères exprimées après un grattage sommaire.

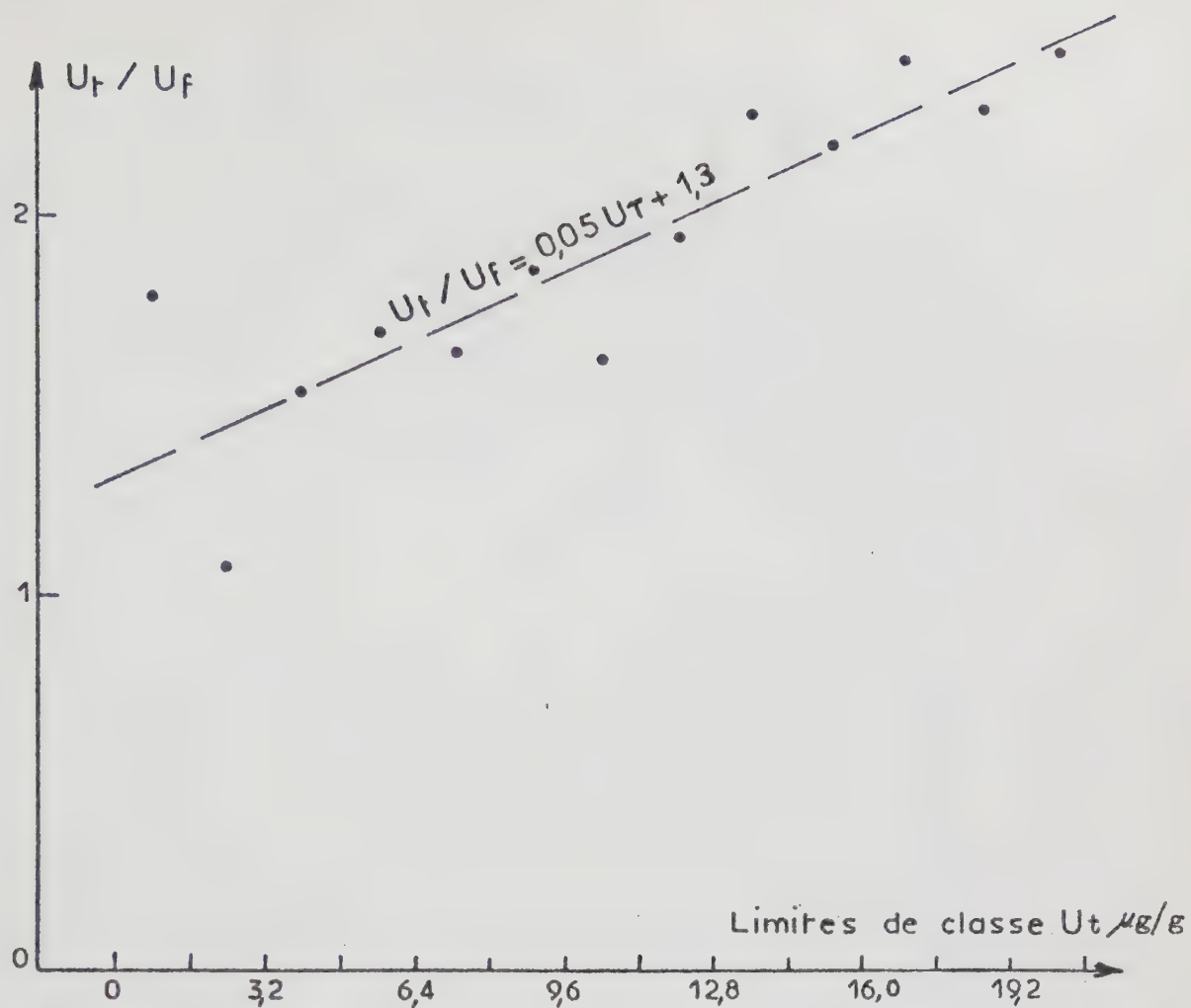


Fig. 33 : Relation entre U_T et le rapport U_T/U_F proportionnel à l'uranium mobile des granites à deux micas de Mortagne.

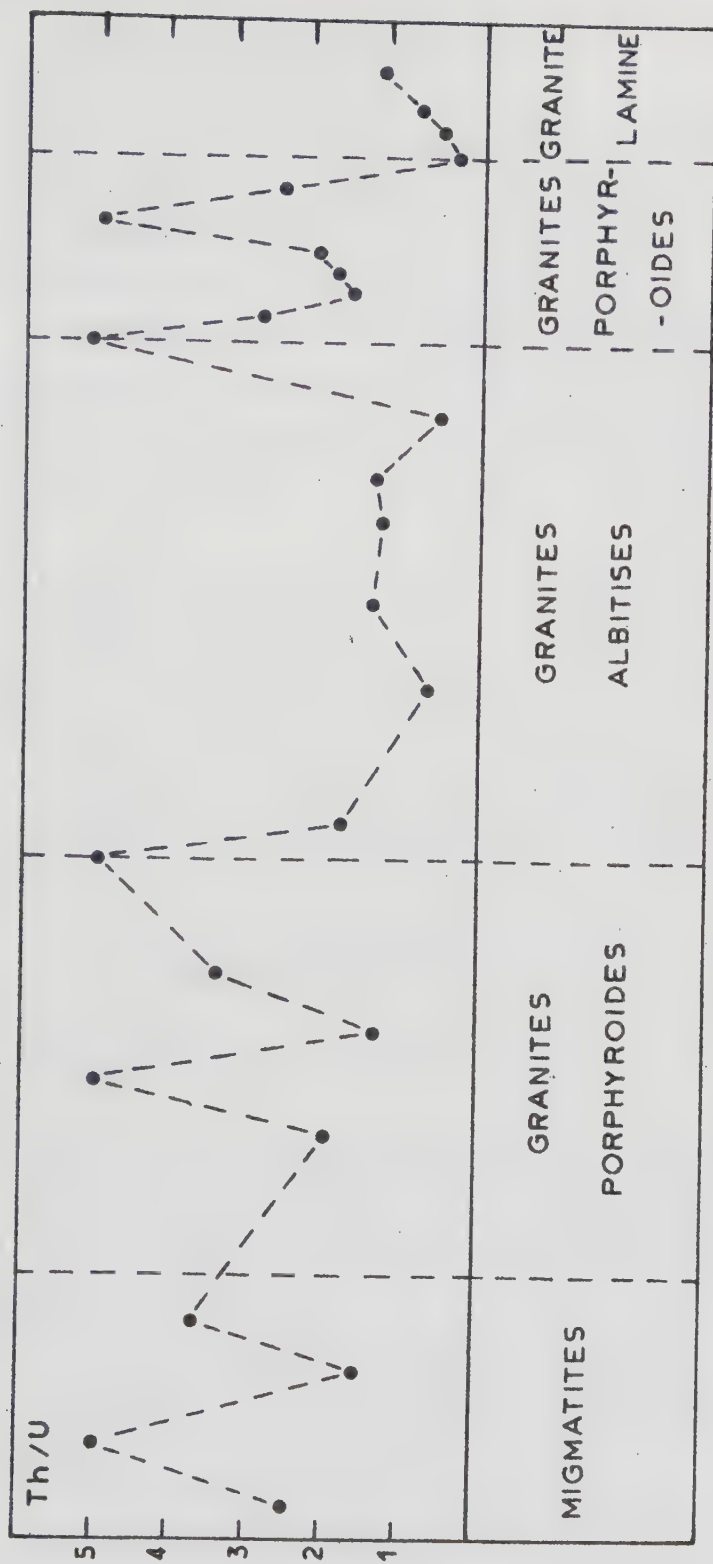


Fig. 34 : Variations du rapport Th/U des roches totales en fonction de la zonalité du Massif de Mortagne (Profil VMR).

gneiss profonds des Herbiers.

La diminution des teneurs en thorium et du rapport Th/U est considérable dans le type "albitisé" ; elle est liée sans doute au fait que l'albitisation ne mobilise pas le thorium (Fig.34).

Au Nord du Longeron, la teneur remonte et subit à nouveau une baisse sensible dans la bordure Nord laminée.

Dans l'encaissant Nord, le thorium accuse une nette différence entre les granites à biotite de Roussay et de la Renaudière, de sorte qu'on observe une croissance parallèle du thorium et de l'uranium dans ces granites, par contre, dans les granites à deux micas, ces éléments varient plutôt en sens opposé.

Le massif intrusif des granites de la Renaudière a conservé un important stock d'uranium et thorium. Ceci rejoint les observations de nombreux auteurs qui ont noté l'existence de fortes teneurs en ces éléments dans les granites intrusifs d'autres régions (R. COULOMB-1959- L.V. TAUSON-1965- S.R. TAYLOR 1965-).

La diminution du rapport Th/U dans la séquence "Mortagne" est liée aux formes minéralogiques distinctes que prennent ces éléments dans les migmatites (monazites) et dans les granites les plus évolués qui contiennent surtout de l'uraninite.

L'aspect minéralogique est donc essentiel, afin d'interpréter correctement les variations de teneurs en uranium et thorium des roches ; et pour juger sous quelles formes minéralogiques l'uranium est le plus mobilisable.

II - NATURE ET REPARTITION DES MINERAUX ACCESSOIRES

A - MODE DE LOCALISATION DE LA RADIOACTIVITE ALPHA

Les granites vendéens contiennent des minéraux accessoires radioactifs qui ont été localisés dans les lames d'autoradiographie.

Dans les échantillons sains de surface, trois types de minéraux ont été identifiés :

- minéraux propres de l'uranium : uraninite
- minéraux où l'uranium entre comme constituant mineur : Zircon, apatite, sphène
- minéraux thorifères : thorite, monazite, allanite.

L'uranium et le thorium liés aux minéraux transparents font partie de la fraction stable ou fixée dans le réseau cristallin; par contre, l'uranium de l'uraninite est mobilisable après son oxydation.

Par ailleurs, une fraction non négligeable de l'uranium s'est montrée liée à d'autres minéraux tels que la biotite, la chlorite, les oxydes de fer,

le leucoxène, et le rutile ; l'essentiel de l'uranium faiblement lié à ces structures appartient à la fraction mobilisable.

B - MINÉRAUX OPAQUES : CRISTAUX D'URANINITE

1° - Caractéristiques générales

Des inclusions opaques très radioactives avaient été signalées dans le granite de la Chapelle Laroche par M. ROUBAULT et R. COPPENS (1955) ; leur étude à la microsonde électronique de Castaing a montré qu'il s'agissait d'uraninite (J.P. RENARD 1970) .

Sa radioactivité alpha s'élève souvent à $150 \alpha/\text{cm}^2/\text{s}$ et correspond à une teneur de 82 % en équivalent d'uranium. Ces données rejoignent celles déjà obtenues sur les cristaux d'uraninite du Limousin par J. BARBIER, H.G. CARRAT, G. RANCHIN (1967) .

2° - Répartition de l'uraninite dans les granites.

a) A l'échelle régionale

L'uraninite cristallise dans les granites à deux micas des massifs en feuillots (Nantes - Savenay , Parthenay) ou intrusifs en lobes (Vigneux Orvault, Mortagne, Châteaumur). Elle apparaît dans les granites, dont la teneur de base est supérieure à $7 \mu\text{g/g}$, par exemple dans le granite de St Clémentin (Nord du massif de Bressuire) ; le fait que les premiers cristaux apparaissent dès cette teneur moyenne des roches, laisse entrevoir que ce minéral concentre au moins 60 % de l'uranium total du granite de Mortagne qui contient au Grand Bois, $20 \mu\text{g/g}$ d'uranium.

b) Localisation en lame mince

Les modalités d'apparition de l'uraninite dans le massif de Mortagne sont les suivantes :

- présence d'un ou plusieurs cristaux d'uraninite par lame mince prélevée en surface.
- présence d'une gangue auréolaire d'oxydes de fer, séricite, chlorite, calcite et de pyrite.

La répartition de l'uraninite est hétérogène à l'échelle de la lame mince (1 à 11 cristaux par lame mince dans le sondage du Grand Bois). Sa localisation préférentielle dans les minéraux phylliteux avec l'apatite ressort à la lecture du tableau 29 et sur les microphotographies (Pl. 2 Fig. 2)

La biotite, la muscovite et l'apatite concentrent plus de 50 % du nombre de cristaux d'uraninite, on en trouve aussi dans les feldspaths (Pl. 2 Fig. 5) et le quartz.

ECHANTILLONNAGES	NOMBRE de LAMES MINCES	Ensemble Minéral hôte pétrographique	QUARTZ	FELDSPATH POTASSIQUE	PLAGIOCLASE	BIOTITE	MUSCOVITE APATITE	NOMBRE d' URANINITES
SONDAGE DU GRAND BOIS	30	Granites à musco- vite et biotite	23	10	13	30	24	100
ECHANTILLONS DE SURFACE	20	Granites à deux micas	7	3	4	21	15	50
	1	Granite du LONGERON	3	2	1	6	8	20
ENCAISSANTS GRANITIQUE MINIERS	20	CHAPELLE LARGEAU	22	4	16	26	32	100
	20	CHARDON	20	4	10	28	38	100
	20	ECARPIERE	25	10	15	30	20	100
	20	COMMANDERIE	20	0	4	14	40	100

Tableau 29 : Nombre de cristaux d'uraninite dénombré dans n lames minces et répartition dans les minéraux des granites à deux micas de MORTAGNE

En surface des granites, on dénombre deux fois moins de cristaux qu'en zone profonde : elle peut disparaître des minéraux tels que les plagioclases, la biotite et la muscovite (BoxWorks observés par J. BARBIER - 1971) .

3° - Microparagonèse et gangue

L'association microparagénétique de l'uranium mise en évidence dans la gangue de l'uraninite à l'aide de la microsonde de Castaing comprend : Le fer, le calcium, le phosphore, le zirconium, les terres rares (Cérium et lanthane, yttrium).

Ces éléments sont associés à la gangue de l'uraninite dans les minéraux hôtes suivants :

a) Apatite

Ce minéral contient souvent de l'uraninite en cristaux automorphes (granite pegmatite de la Commanderie), mais également de la thorianite qui abrite du cerium et du lanthane.

L'ordre d'entrée de ces éléments dans le réseau de la thorianite est régi par la théorie de l'énergétique réticulaire. Le cerium ($E_k = 8,5$) et le lanthane ($E_k = 8,0$) entrent en priorité, suivis par l'uranium ($E_k = 7,0$) et le thorium ($E_k = 6,8$). Ces deux derniers éléments forment leurs phases oxydées ; l'yttrium ($E_k = 3,9$) entre parfois dans le réseau de l'uraninite (sondage de la Coudre)

Cette microparagonèse est rencontrée dans les apatites primaires du gisement de la Commanderie à Mortagne.

b) Biotite

L'habitus de l'uraninite dans la biotite est caractérisé par l'existence d'un halo ferrugineux lié à l'oxydation du fer provoquée par le bombardement alpha (communication orale d'après les travaux inédits de G. JURAIN) -

La gangue est formée d'auroles de séricite et d'oxydes de fer,

c) Muscovite - chlorite

Un cristal d'uraninite atteignant une taille de 100 microns, et cataclaté a été observé dans une muscovite du granite de l'Ecarpière en l'absence de halo ferrugineux, la teinte de polarisation de la muscovite s'abaisse par suite de la radioactivité alpha.

d) Plagioclase

Incluse dans l'albite (granite du Longeron - Mortagne) l'uraninite est entourée d'auroles concentriques : calcédoine avec petites apatites, oxydes

de fer, séricite. Il y a eu destruction de la charpente silicatée de l'albite.

c) Feldspath potassique

L'uraninite y est rare, elle est auréolée d'oxydes de fer.

f) Quartz

Les inclusions opaques sont variées ; ce sont : l'uraninite, la pyrite le nispickel.

L'uraninite est protégée de l'altération quand elle n'est pas localisée dans les fissures.

g) L'uraninite et la pechblende sont souvent associées à la pyrite dans les filonnets qui sillonnent les roches encaissantes des gisements uranifères.

(R. COPPENS, G. JURAIN-1957- et M. ROUBAULT, R. COPPENS - 1960 -)

C - MINÉRAUX TRANSPARENTS RADIOACTIFS

1° Répartition

a) A l'échelle des massifs

Le cortège des minéraux accessoires est fonction du type pétrographique :

- les diorites quartziques et granodiorites à amphibole biotite contiennent des sphènes peu radioactifs et des allanites (massifs de Pouzauges-Moncoutant).

- les granites à biotite à tendance granodioritique présentent : allanite et sphène rares, monazite, zircon ou xénotime (massif de Bressuire).

- les granites à deux micas, dépourvus de sphène et d'allanite, ou xénotime, révèlent en abondance la monazite, le zircon, l'apatite et parfois de la thorite. (massifs de Bressuire, Neuvy-Bouin).

- les granites à deux micas "albitisés" de Mortagne ne contiennent plus de zircon et beaucoup moins de monazites que les granites à caractère moins évolué.

b) A l'échelle de la lame mince

Un dénombrement des cristaux microscopiques transparents dans les minéraux constitutifs essentiels des granites fait apparaître le rôle de minéraux hôtes joués par les minéraux phylliteux, mais aussi les plagioclases pour la thorite et la monazite (tableau 30).

Ces inclusions ont été identifiées d'après les critères microscopiques utilisés par G. EVEN (1966) .

Ensembles pétrographiques	Minéraux radioactifs transparents		MONAZITE PO ₄ (Ce,La,Y,Nd) (XENOTIME PO ₄ (Y,La,Th)) (THORITE Th SiO ₄)				Z I R C O N Zr SiO ₄		ALLANITE (Ca,Ce) Fe ³⁺ , Fe ²⁺ (Al) OH(Si ₂ O ₇)(SiO ₄)		S P H E N E Ca,Ti (SiO ₄)	
Massif de MONCOUTANT : Diorites quartziques à amphibole et biotite									1	1	5	1
Massif de POUZAUGES : Granodiorite à biotite - amphibole	2 n = 5								n = 3		4	2
Massif de BRESSUIRE : Granites à biotite de Moulins	40 n = 25	32	12	16	18	2	1	9	12	3		
Massif de MORTAGNE : Granites à 2 micas	30 n = 18	30	8	14	42	25	3	21	n = 25	4		
Massif de MORTAGNE : Granites "albitisés" à muscovite dominante	3 n = 8	6	1	7		n = 32						
MINÉRAUX HOTES et ASSOCIATIONS		Biotite Apatite										
		Muscovite Apatite Chlorite										
		Plagioclase Auréole Séricite Thorite										
		Feldspath potassique										
		Quartz										
		Biotite Apatite Chlorite	380	550								
		Muscovite Apatite Chlorite	16	200								
		Plagioclase Séricite	260	320								
		Feldspath potassique	51									
		Amphibole Chlorite Epidote										
Valeurs extrêmes de la radioacti- vité alpha en $N \times 10^{-3}/\text{cm} / \text{s}$	2600	4000	1000	1300	2300	3300			400	1000	12	17
	4000	4000	4000	1300	3300	550			1000	1000	12	17
Equivalent uranium % C _u												
Equivalent thorium % C _{Th}	4,6	7,2	1,8	2,3	4,1	5,9			0,7	1,8	0,006	0,009
									0,009	0,009	0,015	0,005
									0,009	0,009	0,015	0,014

Tableau 30 : Nombre d'inclusions transparentes dénombrées dans n lames minces et localisation dans les minéraux des principaux types de granites vendéens. Variations de leur activité alpha en fonction du minéral-hôte
Les teneurs en équivalent uranium et thorium sont calculées d'après les formules $N = 9,2.C_u.K$ et $N = 2,8.C_{Th}.K'$
 K, K' : Coefficients d'absorption pris égaux à 20

2° - Radioactivité alpha

Les radioactivités des minéraux accessoires transparents sont consignées dans le tableau 30 ; elles décroissent dans l'ordre suivant :

- thorite, monazite, zircon, allanite, sphène.

Les phyllites abritent en général, les inclusions les plus radioactives sauf dans le cas de biotites chloritisées.

Les minéraux uranifères et thorifères présentent les radioactivités suivantes :

a) Zircon

Sa radioactivité varie de 550 à $380 \cdot 10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$ quand il est inclus dans la biotite saine ; elle équivaut à 0,2 - 0,3 % d'équivalent uranium. Cette teneur s'abaisse fortement dans la chlorite (16 à $200 \cdot 10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$) comme H.A.M. HUSSEIN (1959) l'avait, par ailleurs, remarqué dans les granites à deux micas du massif de Vigneux-Orvault.

Zircons des biotites

300 à $970 \cdot 10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$

Zircons des chlorites

100 à $650 \cdot 10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$

Ce fait est à rapporter à l'action des processus deutériques (albitisation et chloritisation page 114). La radioactivité se disperse sur les chlorites.

b) Apatite

Sa radioactivité propre est difficile à connaître à cause de la présence d'inclusions beaucoup plus radioactives qui la perturbent.

c) Sphène

Ce minéral qui se présente en cristaux automorphes peut naître à partir de la biotisation des amphiboles dans les granodiorites de Moncoutant, phénomène décrit ailleurs dans les granites des Vosges par G. JURAIN (1962) .

Sa radioactivité, très homogène, est de l'ordre de 9 à $28 \cdot 10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$.

d) Monazite

La monazite est souvent accueillie par la biotite. A la différence du zircon, elle est abondante dans le plagioclase. La radioactivité varie de 1.000 à $4.000 \cdot 10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$. La teneur équivalente en thorium est comprise entre 1,8 et 7,2 % pour les monazites du massif de Mortagne, tandis que pour le massif de Vigneux, J. AM. HUSSEIN avait trouvé 1,2 à 5,3 % de thorium ; la relation inver-

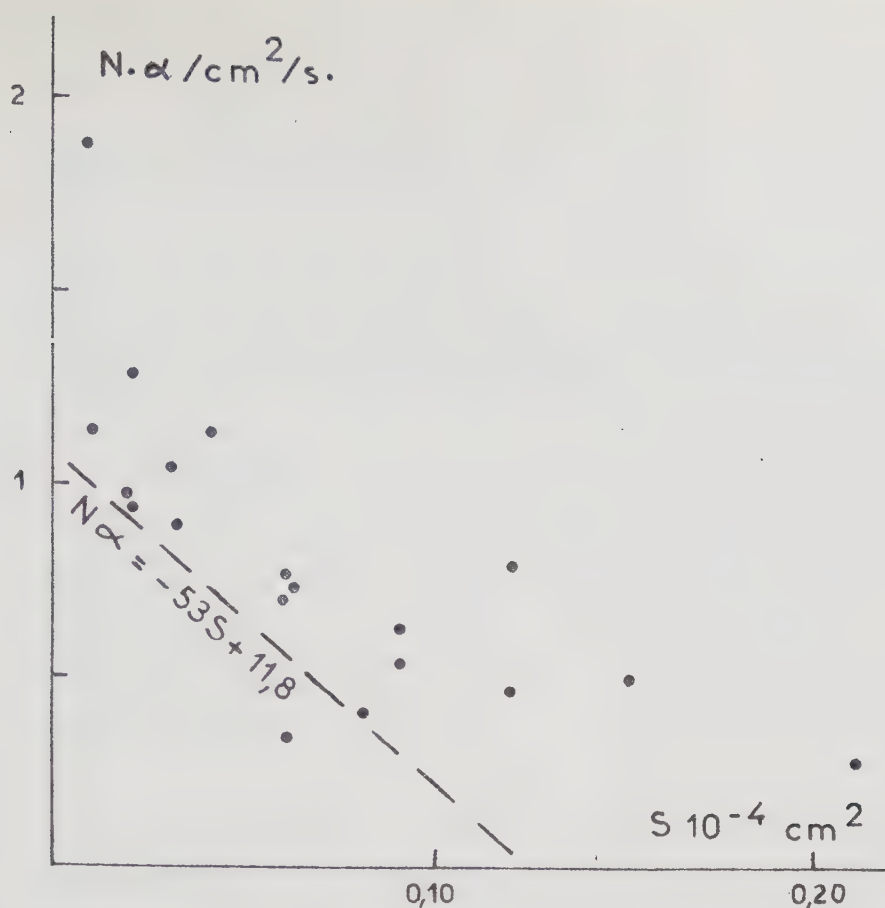


Fig.95 Relation entre la surface de monazites et leur radio-activité alpha. Massif de Mortagne (zone non albitisée de la bordure Sud).

Surface $\text{cm}^2 \cdot 10^{-4}$	Radioactivité $100\alpha/\text{cm}^2/\text{s}$	Minéral hôte
0,06	7,1	Quartz
0,02	9,6	"
0,06	7,7	"
0,02	12,9	Muscovite
0,01	11,5	"
0,06	7,7	"
0,15	5,1	"
0,06	3,2	"
0,03	10,3	Plagioclase
0,03	9,0	"
0,09	6,4	"
0,09	5,4	"
0,12	4,8	"
0,01	19,2	"
0,08	3,9	Biotite
0,12	8,0	"
0,04	11,5	"
0,21	2,7	"
0,02	9,6	"

Tableau 31 - Radioactivité des monazites étudiées dans une lame mince (L.M. CAV 121 - Les Harbiers).

sa surface - radioactivité est observée. (Fig. 35 et tableau 31). Elle a donné lieu à un calcul de corrélation statistique

Cette relation a fait l'objet d'un test de significativité du coefficient de corrélation r observé ($r = 0,71$) ; ce dernier aurait pu se produire par hasard.

Le calcul de la variable $t = \frac{r \sqrt{N-2}}{1-r^2}$ donne ($N =$ nombre de couples)

$t = 4,25$. La table de distribution du t de Student avec $N-2$ degrés de liberté donne 1,9. La valeur observée 2, est hautement significative. Le coefficient de corrélation n'est pas dû au hasard.

c) Allanite

Ce minéral forme des minéraux longs de 1 à 2 mm. Les moins altérés situés entre la biotite et le quartz diffusent une activité de $400 \text{ à } 1.000.10^{-3} \alpha / \text{cm}^2/\text{s}$, (0,7 à 1,8 %) d'équivalent thorium. Les cristaux altérés au contact de chlorite, épidote, quartz, séricite ne présentent qu'une activité inférieure à $400.10^{-3} \alpha / \text{cm}^2/\text{s}$.

Des quelques données regroupées montrent que les minéraux accessoires sont caractérisés par des teneurs en équivalent d'uranium parfois mille fois supérieures à celles des roches totales. J.J.W ROGERS et J.A.S. ADAMS (1969) donnent les teneurs en uranium suivantes exprimées en $\mu\text{g/g}$:

Monazite	:	3 000 $\mu\text{g/g}$	(de 500 à 30 000)
Zircon	:	1 830 "	(de 100 à 6 000)
Sphène	:	280 "	(de 10 à 700)
Apatite	:	65 "	(de 10 à 100)

L'uranium de ces minéraux apportent donc sa contribution dans le stock uranifère des roches étudiées.

D - INFLUENCE DES PROCESSUS AUTO-METAMORPHIQUES SUR LES MINÉRAUX ACCESSOIRES.

La nature des minéraux primaires thorifères et uranifères varie dans le cadre de la zonalité du massif de Mortagne ;

- monazites et zircons des gneiss et migmatites des Herbiers
- monazites et uraninites des granites syncinématiques
- uraninites des granites à muscovite dominante.

Il est remarquable de constater la disparition des zircons dans la

zone à feldspaths potassiques "albitisés". Travaillant sur les granites du Tarraouadjii, M. HANO (1963) avait observé qu'une métasomatose sodique aboutit à une corrosion des zircons ; les zircons ont perdu de 30 à 60 % de leur radioactivité alpha initiale au cours de la chloritisation des biotites.

D'après G. JURAIN (communication orale), si on admet qu'un taux équivalent à 30 % de l'uranium des zircons soit mis en disponibilité, on obtiendrait une libération de 1 100 tonnes d'uranium par km³ de roche.

Cet uranium mobilisé pourrait être concentré ultérieurement ; or on sait que certains gisements uranifères sont situés dans des granites albitisés.

Au moment de la phase ultime de la pseudomorphose de la biotite en muscovite, l'uraninite est épigénisée par des oxydes de fer et perdent au cours de ce processus environ 60 à 80 % de leur uranium. (Pl. 4 Fig. 2) Ceci expliquerait la baisse des teneurs des roches dans le sondage de Grand Bois au niveau des zones fracturées profondes.

Les biotites, eu égard au modeste volume qu'elles occupent dans la roche, contiennent un nombre élevé d'inclusions accessoires (uraninites et minéraux transparents).

Il apparaît nécessaire d'attribuer à ces silicates essentiels un rôle de minéraux hôtes préconcentrant l'uranium. De plus, la mobilisation de l'uranium sous la forme d'ions uranyles semble survenir au cours des altérations endogènes subies par la biotite. Ces dernières caractérisent l'évolution minéralogique ultime des granites à deux micas. De ce fait, ces observations justifient l'intérêt porté aux minéraux phylliteux dans l'étude du comportement de l'uranium en traces.

III - L'URANIUM DANS LES MINÉRAUX PHYLLITEUX

A - LOCALISATION GÉNÉRALE DE L'URANIUM DANS LES BIOTITES

De nombreux travaux sur les biotites montrent qu'elles préconcentrent l'uranium. Les données réunies par J.J.W. ROGERS et J.A.S. ADAMS (1969) sur les teneurs en uranium des minéraux cardinaux et essentiels sont les suivantes :

<u>MINÉRAUX</u>		
<u>Cardinaux</u>		<u>Essentiels</u>
Quartz	1,7 µg/g	Biotite 8,1 (de 1 à 60) µg/g
Feldspaths	2,7 "	Muscovite (de 2 à 8)

E. PICCIOTTO (1950) montre que les biotites des granites du Lac Blanc des Vosges émettent la moitié des rayons α de la roche totale ; la radioactivité

d'une biotite chargée d'inclusions y atteint $0,01 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$, correspondant environ à $50 \text{ } \mu\text{g}/\text{g}$ d'équivalent uranium ; mais l'activité propre de la biotite dépourvue d'inclusions atteint seulement $0,0017 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$ ($9 \text{ } \mu\text{g}/\text{g}$ d'équivalent uranium).

Ainsi que l'ont montré de nombreux auteurs, l'uranium se localise dans les biotites sous les formes suivantes :

- Uraninite en cristaux microscopiques
- Ion U^{4+} en remplacement diadochique dans les minéraux accessoires du type zircon, monazite, apatite, responsables des halos pléochroïques observés.
- en remplacement isomorphique dans le réseau de la biotite, l'ion U^{4+} pouvant occuper la position structurale du Ca^{2+} . Par contre l'ion U^{6+} , en raison de sa charge élevée ne peut pas occuper le site de Fe^{3+} .
- Dans les défauts structuraux, comme bien d'autres éléments en traces étudiés par J. GONI (1966) . Cette fraction peut atteindre 50 % du stock uranifère total de la biotite.
- A l'état d'élément, adsorbé en surface des feuilletts sur les chlorites les oxydes de fer et les inclusions de leucoxène (A.N. KOMAROV et Y.A. SHUKOLYUKOV 1966) . Dans un granite dont la radioactivité est de 1 à $2 \cdot 10^{-3} \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$, les chlorites concentrent de 5 à $30 \cdot 10^{-3} \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$ à l'état diffus soit 30 à $160 \text{ } \mu\text{g}/\text{g}$ d'équivalent uranium.

B - TENEURS EN URANIUM DES PHYLLITES

Les phyllites analysées se groupent en trois lots : biotites, biotites chloritisées et muscovites.

1° - Biotites non chloritisées

Les teneurs en uranium des biotites présentées par type pétrographique et en fonction de la nature des inclusions qu'elles abritent apportent les faits suivants (Tableau 32).

a) Les biotites de granites syncinématiques à deux micas accusent une tendance plus uranifère dans les granites de Mortagne et de Parthenay, Neuvy-Bouin Est, que dans celui de Bressuire.

b) Les biotites des granites à biotite sont peu uranifères dans le massif migmatitique de Moulins et beaucoup plus dans le massif intrusif postectonique de la Renaudière (Encaissant Nord de Mortagne). Les biotites de la granodiorite de Pouzauges demeurent peu uranifères.

MASSIF	BIOTITES ASSOCIEES AUX MUSCOVITES	MINERAUX ACCESSOIRES	URANIUM ($\mu\text{g/g}$) BIOTITES DE SURFACE	
			m	n
MORTAGNE	Granite Albitisé	Uraninite Apatite	37,0 (10-90)	9
	Prophyroïde Orienté	Uraninite Monazite Apatite	27,0 (10-40)	8
	Diigmatite et gneiss	Monazite Zircon - Apatite	14,0 (5-25)	6
PARTHENAY NEUVY-BOVIN EST	Granite Porphyroïde Orienté	Uraninite - Apatite	42,0 (40-43)	3
BRESSUIRE	Granite à gros grain	Monazite - Zircon	24,0 (15-30)	5
NEUVY-BOVIN OUEST	INTERMEDIAIRES	Zircon - Monazite	19,0	3
RENAUDIERE	BIOTITES SEULES			
	Granite non orienté	Monazite - Sphéno	54,0 (21-81)	4
ROUSSAY	Grain moyen orienté	Zircon - Leucoxène	16,0	2
MOULINS	Porphyroïde ou grain fin	Zircon - Allanite	6,5	6
POUZAUGES	Granodiorite à biotite	Allanite	6,5	3

Tableau 32 : Teneurs en uranium des biotites seules ou associées aux muscovites, des granites de la bande Nantes-Parthenay.

m : moyenne arithmétique en $\mu\text{g/g}$; n : nombre d'échantillons.
Valeurs extrêmes entre parenthèses.

2° - Biotites chloritisées

a) Massif de Mortagne

Dix biotites chloritisées contiennent $60 \mu\text{g/g}$ d'uranium.

La dispersion des teneurs en uranium est considérable, (de 10 à $130 \mu\text{g/g}$)

b) Massif de Bressuire

Les biotites chloritisées semblent moins uranifères que celles de Mortagne (m = $27 \mu\text{g/g}$; n = 3).

Les biotites du fond Moulins, chloritisées et séricitisées sont uranifères ($m = 36 \mu\text{g/g}$; $n = 10$) quoique deux fois moins que celles de Mortagne.

3° - Muscovites

Les muscovites de Mortagne contiennent de 1 à $14 \mu\text{g/g}$ d'uranium, teneurs peu variables par rapport à la zonalité : granite migmatitique : 2,1 ($n=3$) ; granites syncinématiques : 6,9 ($n=8$) ; granites à muscovite : 5,1 ($n=6$).

Elles sont moins uranifères que les biotites et chlorites.

Ces données apportent des précisions sur le stock uranifère des biotites d'échantillons types et nécessitent certains commentaires :

- des variations nettes se manifestent dans le cadre de la différenciation pétrographique des roches.

A Mortagne, il apparaît une croissance des teneurs en uranium des biotites quand on parcourt la séquence des granites depuis la zone migmatitique jusqu'à la zone "albitisée".

- Les biotites interstratifiées avec la chlorite contiennent la plus grande quantité d'uranium, la variabilité de leur teneur est l'indice de remaniements géochimiques.

- les biotites sont plus uranifères que les muscovites.

Connaissant l'ordre de grandeur des teneurs en uranium des biotites qui est de 3 à 6 fois celui des roches totales, il devenait intéressant d'envisager l'uranium en liaison avec l'évolution chimique définie dans les biotites (page 89) et d'évaluer le stock mobilisé au cours des processus autométamorphiques ultimes.

C - RELATIONS ENTRE LA COMPOSITION DES BIOTITES ET LEURS TENEURS EN URANIUM

La différenciation chimique des biotites seules est repérée par les paramètres majeurs Si/Al et $\text{K}/(\text{Na} + \text{Ca})$; celle des biotites associées aux muscovites est évaluée par l'indice ferrifère $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$. Le tableau 24 donne le sens de la différenciation chimique des biotites et la variation de leurs teneurs en uranium. (p. 89)

1° - Biotites seules

La sélection des échantillons de type Moulins, Roussay et la Renaudière est classée par degré croissant du caractère silico-potassique des biotites : le stock d'uranium s'accroît dans le même sens que Si/Al et $\text{K}(\text{Na} + \text{Ca})$.

2° - Biotites associées aux muscovites

a) Massif 1 de Bressuire - Neuvy-Bouin - Parthenay

Le stock uranifère s'accroît en fonction de l'indice ferrifère au cours de la sodification des granites.

b) Profil VMR de Mortagne

Les moyennes regroupent les biotites classées par zones pétrographiques individualisées. Là encore, les teneurs en uranium s'élèvent avec l'indice ferrifère.

Dans les deux groupes de biotites granitiques, on assiste à une nette progression du caractère uranifère en liaison étroite avec leur degré de différenciation géochimique.

Le comportement de l'uranium mérite d'être suivi au cours de l'évolution granitique ultime caractérisée par la chloritisation et la muscovitisation des biotites.

D - MOBILISATION DE L'URANIUM AU COURS DE LA CHLORITISATION ET LA MUSCOVITISATION DES BIOTITES.

Pour le massif de Mortagne, les dosages de l'uranium ont donné les fourchettes de teneurs suivantes suivant la nature des phyllites :

<u>PHYLLITES</u>	<u>URANIUM ($\mu\text{g/g}$)</u>
BIOTITES	5-90
CHLORITES	10-130
MUSCOVITES	1-14

Le caractère uranifère s'accroît avec le degré de chloritisation, phénomène qui a été interprété comme une "altération deutérique" accompagnant et suivant l'albitisation des feldspaths potassiques qui mobilise l'uranium des zircons. Les chlorites recueillent et adsorbent l'uranium mobilisé grâce au rôle des oxydes de fer néoformés et, d'après G. JURAIN (communication orale), de la capacité d'échange d'ions de ces phyllites.

Au cours de la muscovitisation des biotites, régie par une microtectonique cisailante, l'uranium et le fer sont expulsés des biotites car la muscovite ne retient pas ces éléments (G. JURAIN - J.P. RICHARD 1970).

Au cours de ce phénomène, l'uraninite est épigénisée par les oxydes de fer (page 14 et Pl. IV Fig. 2) l'uranium libéré serait ensuite drainé par les hydroxydes de fer.

Le rôle de la conversion de la biotite en muscovite dans la libération de l'uranium a été prévu par G. JURAIN (1962-, page 179).

L'Uranium mobilisé sous forme d'ions uranyles pourrait être concentré dans les endroits où les conditions physico-chimiques permettent un tel phénomène (M. ROUBAULT et R. COPPENS-1959)

Il s'avère donc utile d'évaluer la quantité d'uranium mobilisée en admettant que ce mécanisme de préconcentration ait concerné un certain volume rocheux.

Soit une roche "type Mortagne" contenant 10 % de biotite et 10 $\mu\text{g/g}$ d'uranium total. La biotite chloritisée en concentre 60 $\mu\text{g/g}$, soit encore 50 % du stock uranifère de la roche. Il est raisonnable d'envisager le remplacement par la muscovite d'un poids de biotites chloritisées égal à 5 % de celui de la roche.

Sachant que la muscovite ne retient que 10 $\mu\text{g/g}$, le stock uranifère expulsé des biotites atteint 50 $\mu\text{g/g}$. La roche totale libère $50 \times 5/100 = 2,5 \mu\text{g/g}$.

Il suffit d'envisager que ce processus ait joué dans les panneaux granitiques de densité 2,5 situés de part et d'autre d'une faille, et de volume total égal à $0,2 \text{ km}^3$ pour expliquer la migration de 1250 tonnes d'uranium.

Or, au voisinage de la Chapelle Largeau, le granite cataclaté et muscovitisé (2 à 4 % de biotite) forme une bande de 2 km x 1 km étudiée par M. ROUBAULT et R. COPPENS (1960) (1) et P. BAILLET (1964). La teneur moyenne de cette zone est 5 $\mu\text{g/g}$ d'uranium, celle du granite à biotite dominante (10 % de biotite) situé au Sud, est de 12 $\mu\text{g/g}$. Ces chiffres rendent vraisemblable le calcul précédent du tonnage d'uranium libéré qui est compatible avec la formation d'un gisement de l'importance de la Chapelle Largeau.

La part des processus supergènes d'altération de l'uranium peut être approchée : le stock total libéré autour de la Chapelle Largeau est $12-7 = 5 \mu\text{g/g}$. L'altérabilité de l'uraninite est à considérer.

L'uraninite retient 60 % environ du stock uranifère, en surface 50 % du nombre de cristaux d'uraninite disparaît donc 30 % de l'uranium total serait mobilisé ou bien redistribué sur place dans la chlorite ; le stock libéré :

(1) D'après ROUBAULT et R. COPPENS (1960), la biotite est surtout abondante dans les échantillons éloignés du gisement ; elle disparaît à l'approche de celui-ci.

5 ug/g, qui représente 60 % du stock primaire proviendrait de la muscovitisation des biotites et de l'altération supergène.

L'action de la muscovitisation endogène des biotites se fait sentir à 200 m de profondeur dans le sondage du Grand Bois ; la teneur en uranium des roches fluctue de 8 à 25 ug/g dans les zones fracturées profondes là où l'hématitisation des feldspaths paraît être liée à la muscovitisation des biotites ; cette remarque justifie le calcul de l'uranium mobilisé dans un volume rocheux important et qui a subi les phénomènes observés.

Vouloir faire la part respective qui revient aux processus endogènes et supergènes dans la libération de l'uranium est tantant.

B - PARTS RESPECTIVES DES ALTERATIONS ENDOGENES ET SUPERGENES

Ce problème a été circonscrit aux variations de l'uranium des biotites en fonction de la profondeur dans les granites de Mortagne, Bressuire, St Clémentin et Moulins. Cette étude réclame quelques remarques sur les transformations subies par les biotites.

Dans les granites de Mortagne, la biotite est convertie en chlorite et muscovite. Dans les sondages de Bressuire, les biotites et plagioclases associés épigénétiquement sont aussi altérés les uns que les autres. Des altérations profondes affectent les biotites des granites à biotite recoupés par les granites à deux micas (sondage de Saint-Clémentin) ; la biotite est remplacée par un agrégat de chlorite, séricite et calcite.

Deux sondages implantés de part et d'autre de la bande médiane granitique à biotite seule du massif de Bressuire, vont permettre de suivre les variations de l'uranium, conjointement à celles de la chloritisation, en fonction de la profondeur.

1° - Variations de la chloritisation avec la profondeur

Il semble que la chloritisation ne dépende pas de la profondeur dans les sondages étudiés : - les biotites chloritisées des sondages de Bressuire et de Saint Clémentin (tableau 35) présentent des formules structurales qui sont constantes en première approximation, dans les 11 premiers mètres échantillonnés (tableau 33).

Le nombre d'ions oxhydriles et de potassium dans les phyllites est constant.

Par contre, le sondage de Bressuire présente un degré de chloritisation croissant avec la profondeur. Par ailleurs, le granite à biotite de

BRESS	Granite à deux micas de Bressuire					Granite à deux micas de St-Clémentin					Granite à biotite de Moulins				
	3	5	7	9	11	CLEM 1	2	5	6	11	CLEM 34	35	36	37	
X	4,95 8,00 3,05	4,63 7,66 3,03	4,71 8,00 3,28	4,75 7,95 3,20	4,60 7,62 3,02	5,80 8,00 2,20	5,23 8,00 2,77	5,34 8,00 2,66	5,39 8,00 2,61	5,63 8,00 2,32	4,80 8,00 2,94	4,86 7,74 2,76	4,99 7,70 2,71	5,05 7,64 2,59	
Y	0,11 0,77 1,49 0,05 1,29 0,23	- 0,51 1,98 0,05 1,34 0,25	- 0,60 1,82 0,05 1,33 0,23	- 0,40 1,97 0,05 1,33 0,22	- 0,57 2,05 0,05 1,30 0,23	0,75 0,79 1,19 0,05 0,95 0,25	0,23 0,36 1,28 0,05 1,04 0,28	0,34 0,80 1,46 0,05 1,06 0,26	0,37 0,41 1,77 0,05 1,02 0,23	0,63 0,45 1,54 0,04 0,90 0,22	- 0,29 1,81 0,04 1,64 0,30	- 0,32 1,79 0,04 1,82 0,31	- 0,46 1,65 0,04 1,73 0,32	- 0,34 1,77 0,04 1,79 0,33	
Z	0,06 - 0,66	0,05 - 1,00	0,05 0,06 0,33	0,08 0,10 0,33	0,08 0,05 0,30	0,07 0,13 0,66	0,09 0,06 0,59	0,09 0,06 0,53	0,13 0,10 0,52	0,13 0,14 0,57	0,34 0,89 0,55	0,34 1,03 0,74	0,41 1,21 0,80	0,31 1,44 1,13	
OH	7,03 0,09	5,22 0,13	7,98 0,06	7,95 0,06	7,90 0,08	5,78 0,08	6,10 0,08	6,55 0,03	6,25 0,06	6,15 0,06	6,55 0,10	5,52 0,13	4,73 0,15	3,66 0,17	
F	1,15 0,63	1,43 0,65	1,36 0,65	1,48 0,64	1,58 0,66	1,25 0,68	1,23 0,68	1,38 0,63	1,74 0,60	1,71 0,69	1,10 0,56	0,98 0,54	0,95 0,53	0,99 0,54	
Fe ²⁺ /Mg ²⁺	0,52	0,25	0,33	0,20	0,28	0,65	0,67	0,55	0,23	0,29	0,16	0,18	0,28	0,19	
U _T Mg	18,0	20,0	21,2	26,2	24,8	22,9	22,6	26,2	27,3	42,4	7,7	8,3	13,4	8,4	

Tableau 35 : FORMULES STÉCHIOMÉTRIQUES DES MINÉRAUX

Tableau 35 : FORMULES STRUCTURALES DES BIOTITES CHLORITISEES DES SONDAGES IMPLANTES DANS LE MASSIF DE BRESSUIRE. TENEUR EN URANIUM TOTAL (U_T)

St Clémentin se chloritise près du contact franc avec le granite à deux micas.

L'altération des chlorites ne semble pas très poussée puisque Mg et Fe et par suite l'indice ferrifère $Fe/(Fe + Mg)$ ne varient pas en fonction de la profondeur. Ce rapport caractérise le degré d'évolution primaire des biotites.

Le rapport Fe^3/Fe^2 s'accroît au voisinage de la surface ce qui traduit l'altération commençante, variation indépendante de celle présentée par le nombre d'ions OH^- des formules structurales et donc de la chloritisation endogène.

SONDAGE BRESSUIRE					SONDAGE DE SAINT CLEMENTIN									
Granite à gros grain 2 micas					Granite à grain fin					Granite à biotite				
p	$(OH)^-$	F^-	Fe/Fe	U	p	$(OH)^-$	F^-	Fe/Fe	U	p	$(OH)^-$	F^-	Fe/Fe	U
0	4,23		0,63	15,0	0	-	-	-	30,8					
1	5,78	0,28	0,50	17,2	1	5,78	0,21	0,65	22,9					
3	7,03	0,21	0,52	18,0	2	6,10	0,21	0,67	22,6					
5	5,22	0,31	0,25	20,0	5	6,55	0,18	0,55	26,2	34	7,30	0,24	0,16	7,7
7	7,78	0,15	0,33	21,2	6	6,25	0,16	0,23	27,3	35	6,23	0,31	0,18	8,3
9	7,95	0,16	0,20	26,2						36	5,34	0,37	0,28	13,4
11	7,98	0,18	0,28	24,8	11	6,15	0,16	0,29	42,4	37	4,14	0,42	0,19	8,4

Tableau 33 : Variations en fonction de la profondeur, dans les biotites chloritisées des sondages de Bressuire et St Clémentin des teneurs en uranium, fluor et des paramètres (OH^-) et Fe^3/Fe^{2+} servant à suivre la chloritisation.

p : profondeur en mètres ; $(OH)^-$: Nombre d'oxyhydriles dans les biotites ;

F^- : teneur en fluor ; Fe^3/Fe^2 : degré d'oxydation du fer ; U ($\mu g/g$) : teneur en uranium des biotites.

2° - L'uranium des biotites au fond et en surface

a) Biotites non chloritisées

Quelques biotites du granite de Mortagne présentent des teneurs semblables en surface comme au fond (-205 n).

MASSIF DE MORTAGNE	N° ECH.	U T	U _F
	C A V A		
Biotites de surface	36 56	88,9 63,8	n.d.
	ECA		
Biotites du gisement de d'Ecarpière (Niv. - 205 m)	42 48 H.8	72,6 76,6 93,2 42,7	42,7 40,9 42,7 12,8

Tableau 34 : Teneurs en uranium de biotites saines prélevées en surface et au fond. Ces dernières peuvent contenir de 50 à 60 % d'uranium mobile.

b) Biotites chloritisées (sondages de Bressuire - S- Clémentin)

Dans les deux sondages, la décroissance de l'uranium au voisinage de la surface est comparable dans les 11 premiers mètres: de 24,8 à 15,0 pour le premier sondage (rôle de la chloritisation croissante avec la profondeur) et de 42,4 à 30,8 pour le deuxième sondage (rôle du lessivage).

Le lessivage supergène, dans le second cas, entrainerait 25 à 30 % de l'uranium ; cela se conçoit puisque l'uranium mobilisé au cours de la chloritisation endogène, n'est que faiblement adsorbé.

Cette estimation doit être considérée avec prudence car si l'on compare les teneurs en uranium de biotites de sondages (Bressuire) avec celles de la surface, il n'apparaît pas de différence significative :

Biotites de surface

Biotites en sondage

$$24,0 \mu\text{g/g} \text{ (8)}$$

$$\sigma^2 = 40$$

$$21,0 \text{ (7)}$$

$$\sigma^2 = 11$$

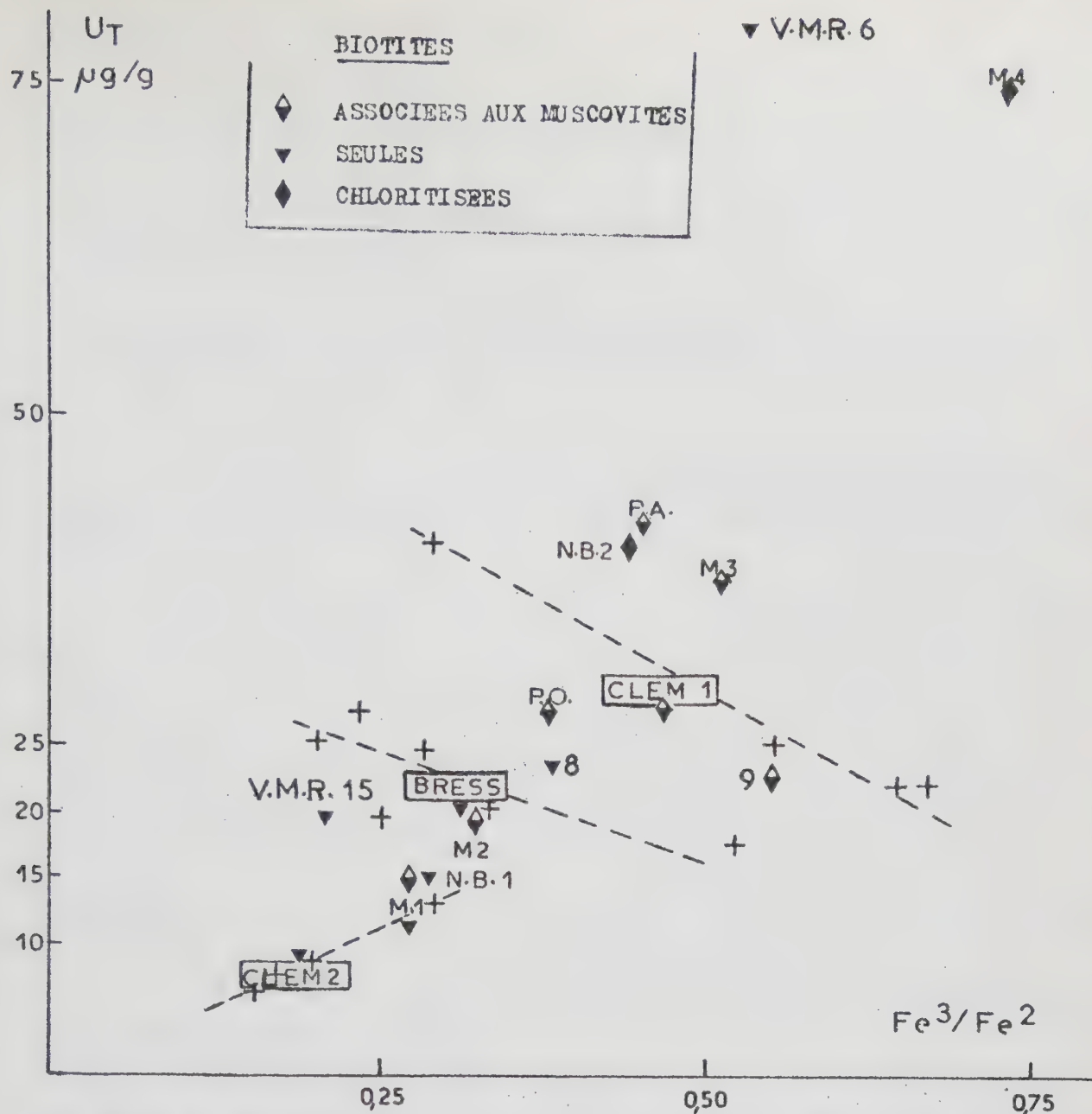
La variable statistique t, calculée en appliquant la méthode des petits nombres, exposée page 96, prend la valeur 3,2 ($t < t_{0,01}$).

Il en est de même pour les biotites du granite de Moulins.

La différence des teneurs en uranium des biotites en surface ($m = 6,5$, $n = 4$, $\sigma^2 = 4$) et en sondage ($m_2 = 9,5$, $n_2 = 5$, $\sigma^2 = 6$) n'est probablement pas significative au seuil 95 % choisi ($t_{\alpha} = 1,93$).

En définitive, les stocks uranifères des biotites ne semblent pas subir de diminution nette entre le fond et la surface (Mortagne).

Cependant, les biotites chloritisées perdent une fraction de leur



- Massif de Mortagne
- ◆ Biotites de granites à 2 micas
 - M 1 - Migmatites de la bordure Sud (n = 5)
 - M 2 - Granites porphyroïdes orientés (n = 20)
 - M 3 - Granites "albitisés" (n = 12)
 - M 4 - Granites chloritisés (n = 3)

- Massif de Parthenay
- P.O.- Granite porphyroïde (n = 2)
 - P.A.- Granite "albitisé" à muscovite dominante (n = 1)

- Massif de Bressuire
- + Biotites chloritisées de sondages
 - BRESS - Granites à 2 micas de Bressuire (n = 5)
 - CLEM 1 - Granites à grain fin de Saint Clémentin (n = 5)
 - CLEM 2 - Granites à biotite à tendance granodioritique (n = 5)

- Massif de Neuvy-Bouin
- N.B. 1 - Granite à biotite
 - N.B. 2 - Granite à muscovite et tourmaline

Fig. 36 : Relation entre les teneurs moyennes en uranium des biotites et leur rapport Fe^{3+}/Fe^{2+}

uranium près de la surface des granites.

L'uranium mobilisé au cours de la chloritisation endogène est lessivable par les processus supergènes, car il se trouve peu lié à la chlorite.

Pour faire la part entre le rôle de l'évolution endogène des biotites et le lessivage secondaire dans les teneurs en uranium observés, le degré d'oxydation du fer a été considéré.

3° - Relation entre la teneur en uranium des biotites et le degré d'oxydation du fer.

Un graphique des teneurs uranium en fonction du rapport Fe^3/Fe^2 montre la part respective de la chloritisation endogène des biotites et du lessivage supergène.

Les moyennes en uranium des biotites y figurent par types pétrographiques (en surface et dans les sondages) (Fig. 36). Il apparaît une relation linéaire positive entre l'uranium et le paramètre Fe^3/Fe^2 qui caractérise la chloritisation des biotites par contre, la relation inverse observée en sondage traduit l'emprise de l'altération secondaire qui ne perturbe pas cependant le phénomène initial : les biotites chloritisées en surface du massif de Mortagne contiennent 60 ug/g d'uranium donc plus que les biotites.

F - CONCLUSION

Les teneurs en uranium des biotites sont liées à la nature des minéraux accessoires qu'elles abritent.

Dans les biotites de Mortagne, caractérisées par des inclusions d'uraninites, le stock uranifère s'accroît depuis la bordure migmatitique (14 ug/g) jusqu'au type "albitisé" (37 ug/g).

Au cours des processus autométamorphiques, l'uranium chassé hors des structures minérales primaires demeure adsorbé dans les chlorites ; ces dernières en recueillent de 10 à 130 ug/g. La muscovite n'en retient que 1 à 14 ug/g.

Les biotites préconcentrent l'uranium, la chloritisation le mobilise, la muscovitisation le libère avec le fer, ce qui fournit un mécanisme de préconcentration géochimique.

L'influence de la profondeur n'est pas sensible sur le degré de chloritisation des biotites.

Dans les biotites chloritisées, la teneur en uranium semble décroître de 30 % au voisinage de la surface.

A une échelle régionale, le fait qu'il existe une relation pratiquement linéaire positive, entre le degré d'oxydation du fer et de la teneur en uranium des biotites de surface et de sondage, traduit un enrichissement primaire

indépendant de l'altération supergène, et lié à la chloritisation endogène .

Ce résultat se conçoit à la lumière d'une différenciation des biotites au cours de l'évolution des granites, se prolongeant par la chloritisation. Une discussion des résultats collationnés en géochimie de l'uranium sur les minéraux essentiels (phyllites) et accessoires permet d'interpréter dans de meilleures conditions les teneurs en uranium des roches granitiques.

IV - INTERPRETATION DES TENEURS EN URANIUM

La géochimie de l'uranium dans les phyllites mérite d'être envisagée sous les aspects suivants :

- l'héritage géochimique
- l'évolution granitique
- la mobilisation endogène
- l'altération supergène.

A - STOCK GEOCHIMIQUE ET NATURE PETROGRAPHIQUE DES ROCHES

Les terrains métamorphiques en surface présentent une faible teneur en uranium : micaschistes encaissants du massif de Mortagne. Par ailleurs, en zone saine profonde (gisement du Chardon) des différences nettes apparaissent entre les schistes métamorphiques et les granites. (Tableau 35)

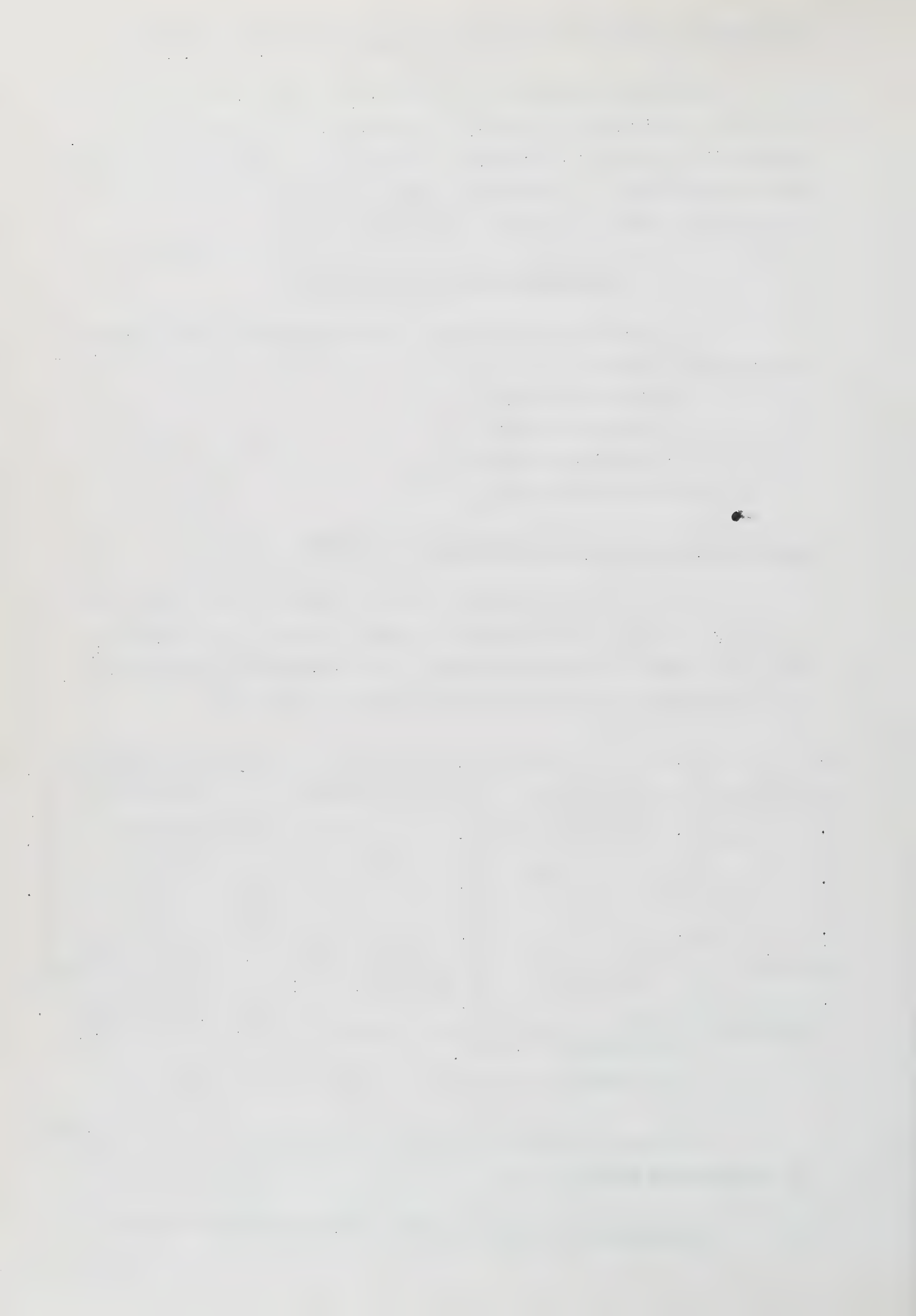
TYPE PETROGRAPHIQUE	SCHISTES METAMORPHIQUES QUARTZEUX	MIGMATITES ET GNEISS A DEUX MICAS	GRANITES ORIENTES A DEUX MICAS
U _T	6,0	12,0	22,4
n	4	3	10
Localisation	Niveau -240 Bande médiane	Niveau -240 Nord Bande Médiane	Niveau -160 Bande médiane Nord

Tableau 35 : Teneurs en uranium total des roches métamorphiques et granitiques du gisement du Chardon.

U_T : uranium total en $\mu\text{g/g}$; n : nombre d'échantillons

La teneur en uranium des roches pourrait s'accroître avec l'intensité du métamorphisme régional.

Au Chardon, les formations pétrographiques présentent avec les ,



granites des contacts de nature tectonique. De plus, les échantillons choisis sont dépourvus de filonnets microscopiques pochlende.

On assiste à une croissance des teneurs en uranium du simple au double, d'une part entre les schistes et les migmatites, d'autre part entre ces dernières et les granites syntectoniques. Il y aurait eu un enrichissement du stock uranifère originel au cours du métamorphisme.

Une comparaison brève de ces teneurs avec celles des granites montre les analogies suivantes :

- En surface
- Migmatites des Herbiers (7 à 8 $\mu\text{g/g}$)
 - Granites à grains fins à deux micas de Mortagne (8 à 9 $\mu\text{g/g}$).
- En zone profonde
- Schistes métamorphiques du Chardon et granites à biotite du massif de Bressuire (6 et 7 $\mu\text{g/g}$).
 - Granites à biotite ou à deux micas du massif de Bressuire (7 à 10 $\mu\text{g/g}$)

Les granites syntectoniques sont particulièrement uranifères dans le cas du massif de Mortagne. Les différences de stock "primaire" entre granites à deux micas et granites à biotite de Moulins sont encore plus nettes, quand on considère les teneurs en uranium de leurs biotites respectives (non chloritisées). En sondage, les biotites de Moulins ne contiennent que 6 à 13 $\mu\text{g/g}$ d'uranium. Par contre, les biotites des granites à deux micas présentent des teneurs souvent deux fois supérieures aux précédentes (sondages de Bressuire, de St Clémentin).

On entrevoit donc le problème de l'héritage d'un stock uranifère dans les granites :

- au niveau des micaschistes et gneiss à biotite du métamorphisme régional pour le massif de Bressuire.
- au niveau des schistes cristallins profonds de la zone à biotite sillimanite pour le massif de Mortagne.

La question de l'héritage découle également de la comparaison entre les teneurs en thorium des migmatites et des granites porphyroïdes de Mortagne, cette dernière observation situerait le stock primaire du thorium du massif de Mortagne dans les gneiss à biotite-sillimanite de la bordure Sud, issus eux mêmes d'un matériau originel silicoalumineux.

Sur le plan des variations géochimiques internes aux massifs de Mortagne et de Bressuire, il convient de connaître l'apport de l'uranium au cours des phénomènes de granitisation, puisque les granites à deux micas de Mortagne sont deux fois plus uranifères que ceux de Bressuire.

B - VARIATIONS DES TENEURS MOYENNES DANS L'OPTIQUE DE L'EVOLUTION GEOCHIMIQUE DES GRANITES.

La confrontation des teneurs en uranium et des caractères géochimiques de divers granites vendéens résumés dans le tableau 11, conduit à préciser les faits suivants, compte tenu des variations géochimiques de l'uranium et des éléments majeurs.

- Le stock d'uranium n'excède pas $7 \mu\text{g/g } U_T$ dans les granites à biotite de Moulins, et à deux micas de Bressuire ; ceux-ci sont caractérisés, chimiquement, par une tendance granodioritique qui expliquerait leur caractère uranifère peu marqué.

- Les granites à deux micas de Mortagne, à caractère monzonitique franc, sont nettement plus uranifères que les précédents. Ainsi que le traduit bien la figure 25, mettant en relation U_T et le rapport $K2O/(Na2O + CaO)$ exprimé minéralogiquement par le rapport orthose/plagioclase. L'enrichissement plus important en uranium peut être mis en relation étroite avec le caractère potassique plus accusé des granites.

Une relation équivalente à celle trouvée pour les massifs de Bressuire et de Mortagne peut être mise en évidence dans les massifs de Guéret et de St Sylvestre du Limousin (d'après les analyses citées RANCHIN 1970) .

Tous ces massifs renferment des pegmatites potassiques à muscovite et perthite. L'affinité de l'uranium avec les pegmatites potassiques, a été soulignée par M. ROUBAULT (1958) au sujet des occurrences uranifères de Madagascar,

C - PROBLEME DE LA MOBILISATION DE L'URANIUM EN TRACES DANS LES GRANITES A DEUX MICAS

La présence d'un stock géochimique élevé d'uranium est une condition nécessaire mais non suffisante à l'existence de concentrations sous forme de gîtes. Ainsi le granite de la Renaudière dépourvu de gisements contient en surface $15 \mu\text{g/g}$ d'uranium, il se montre plus uranifère que les granites de Mortagne pourtant fertiles en gisements ; mais il contient de l'uranium peu mobilisable dans le réseau de silicates, (zircons, sphènes, monazites).

Il convient de prendre en considération le caractère mobile de la présence de l'uraninite et l'uranium dans les granites à deux micas fondamentaux et de le situer dans le cadre de l'évolution géochimique et tectonique ultime du massif.

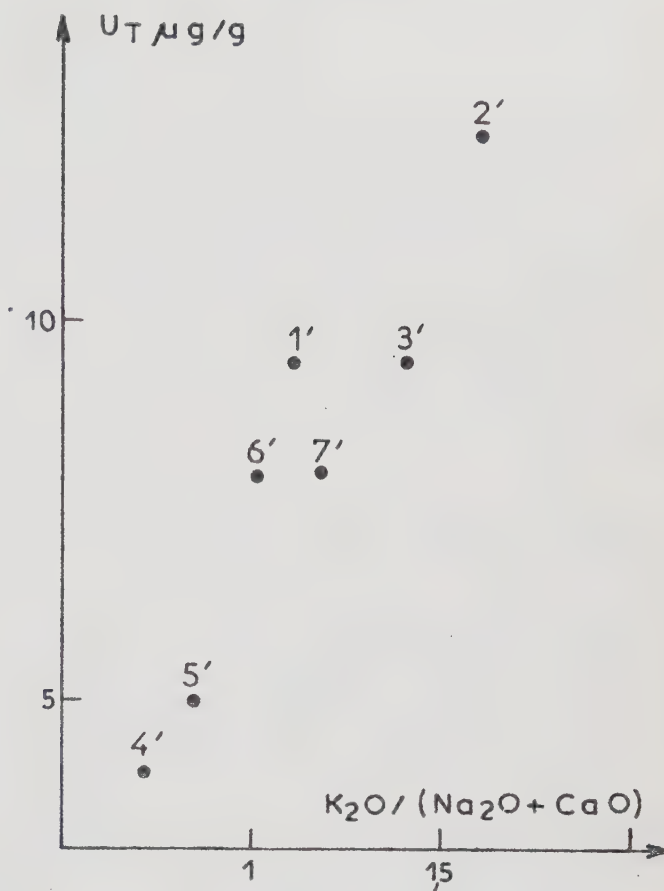
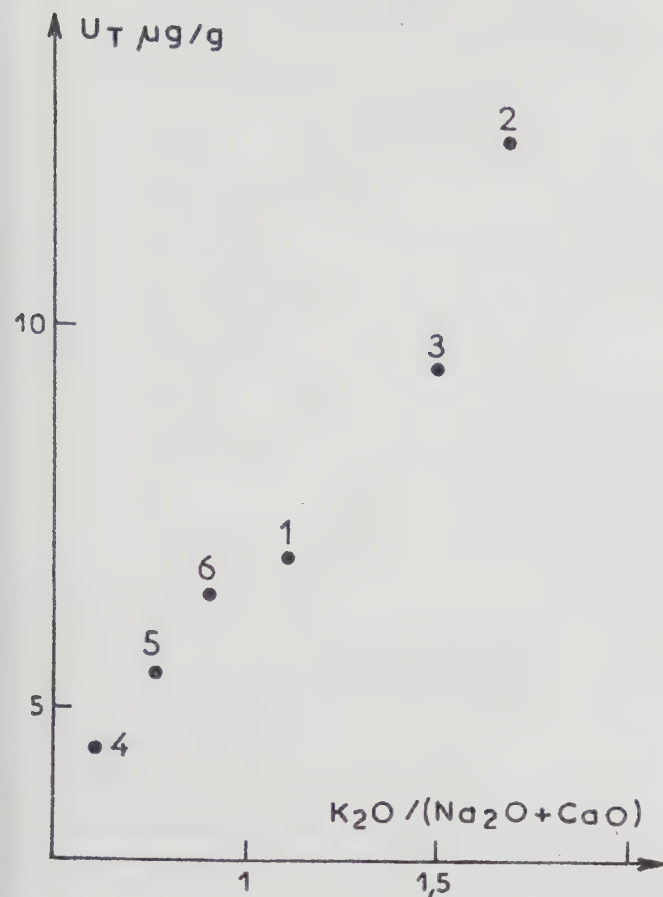
Les facteurs de remaniement de l'uranium peuvent se ramener à deux types d'altération : supergène et endogène.

1° - Influence des remaniements supergènes sur la localisation et la distribution de l'uranium.

Un premier groupe de remaniements est lié aux processus d'altération

VENDEE

LIMOUSIN



Massif de Mortagne

Massif de St Sylvestre

- 1 Granites orientés à biotite-sillimanite de la bordure Sud
- 2 Granites porphyroïdes orientés
- 3 Granites albitisés à muscovite

- 1' Granite à biotite sillimanite de la Brème.
- 2' Granites à 2 micas de la zone Ouest
- 3' Granites albitisés de la zone Est

Massif de Bressuire

Massif de Guéret

- 4 Granite granodioritique à biotite
- 5 Granite à biotite de Moulins
- 6 Granite à 2 micas de Bressuire

- 4' Granite orienté
- 5' Granite monzonitique à biotite
- 6' Granite porphyroïde à biotite
- 7' Granite à 2 micas - Marche Centrale

Fig. 37 : Relation entre la teneur moyenne en uranium et le rapport $K_2O/Na_2O + CaO$ dans les granites des districts uranifères de Vendée (IN J.P. RENARD 1969) et du Limousin (IN G. RANCHIN 1970).

dont l'aboutissement est la formation d'une arène. Par exemple, le sondage du Cottereau a montré une chute générale des teneurs de 15 à 4 $\mu\text{g/g}$ d'uranium quand on passe du granite à la même roche désagrégée en granulés.

L'ampleur des remaniements que l'altération supergène introduit a été soulignée déjà maintes fois (G. NEUER BURG 1955 , E.H. HAMILTON 1958 , M. ROUBAULT et R. COPPENS 1959 , N.I. BARANOV et al. 1962). Ils sont observés par la dispersion de la radioactivité alpha en lames minces et par la décroissance des teneurs en uranium des roches totales.

La dispersion de la radioactivité alpha est étroitement associée à des manifestations endogènes du type chloritisation, hématisation (granite de la Commanderie). Les inclusions d'uraninite sont observées en surface du massif sauf dans les zones plus altérées où l'uranium primaire (uraninite) est redistribué sous forme d'autunite (en tête du sondage GRB jusqu'à 20 m de profondeur), même dans ce cas, les teneurs en uranium n'ont pas toujours tendance à décroître du fond vers la surface (aplomb des gisements de la Commanderie et de l'Ecarpière).

Cependant, cette décroissance se produit :

- dans les affleurements naturels par rapport aux carrières plus saines.

- dans le sondage de St Clémentin (massif de Bressuire) où la teneur en uranium décroît de 10 à 5 $\mu\text{g/g}$ vers la surface (BARBIER 1971). L'altération supergène s'y est exercée à la suite d'une chloritisation endogène.

Par ailleurs, les biotites semblent conserver leur stock uranifère en dépit d'une redistribution de l'uranium.

Les principales études publiées sur les granites uranifères du Limousin BARBIER J. et RANCHIN G. (1969 a,c) montrent que les passages de la zone saine à la zone altérée est marquée par l'oxydation et la destruction de l'uraninite, et par l'oxydation du fer ferreux. Il en résulte une baisse considérable de la teneur moyenne en surface par rapport à la teneur de base du granite ; or ceci n'est pas toujours le cas : sondages de Margnac (J. BARBIER 1971). Cette décroissance est d'autant plus spectaculaire, d'après ces auteurs, que le type de granite envisagé est plus acide et plus uranifère. En définitive, les phénomènes de remaniement décrits se rapprocheraient au moins autant sinon davantage de l'histoire géotectonique endogène que des processus d'altérations supergènes auxquels se rattacherait le remaniement de l'uranium avec néoformation d'autunite.

2° - Nobilisations endogènes

Un deuxième groupe de facteurs est lié à l'altération endogène. Les roches uranifères les plus remaniées sont les granites fracturés et hématisés (sondage du Grand Bois), l'hématite provenant de la muscovitisation des biotites. L'uraninite, épigénisée par l'hématite (Pl. IV Fig. 2), perd 80 % environ de

radioactivité initiale. Au cours de la chloritisation, l'uranium est redistribué et nous avons vu que les zircons des chlorites étaient moins radioactifs que ceux des biotites. L'évolution endogène peut entraîner un enrichissement local de la teneur : par exemple : l'activité diffuse des chlorites de leucoxènes et des oxydes de fer s'accompagne d'une augmentation de la teneur dans les encaissants miniers de Vendée,

Ceci rejoint les observations faites au Linousin par G. RANCHIN (1970) qui signale une augmentation de la teneur en uranium dans le sondage BS 1 de Margnac et dans le sondage GS3 (St Léger-la-Montagne - zone albitisée) en liaison avec la chloritisation.

La muscovitisation entraîne par contre un appauvrissement de la teneur jusqu'à 5 ug/g d'uranium total comme par exemple au Sud de l'indice du Longeron ou à -200 m dans le sondage de Grand Bois. Une baisse identique des teneurs a été observée dans la région du gisement de la Chapelle Largeau par M. ROUBAULT et R. COPPENS (1955) .

Cette décroissance de l'uranium qui se produit dans les granites à muscovite par rapport aux granites à biotite dominante accompagne la baisse de la quantité de ferromagnésiens en particulier de fer (corrélation positive entre le fer et l'uranium observée dans les granites du Linousin par M. ROUBAULT 1964. Un tableau donnant le stock d'uranium ou la radioactivité d'ensembles granitiques de régions uranifères françaises (tableau 36) montre que la teneur en uranium des granites à muscovite dominante est en général au plus égale à celle de granites à biotite dominante .

A l'échelle du terrain, des anomalies locales de la radioactivité accompagnent la présence des roches surmicacées. Ce résultat a déjà été formulé par H.A.M. HUSSEIN (1959) à propos du massif de Vigneux-Orvault.

Dans le cas de Mortagne, un graphique (Fig. 38) montre une nette corrélation positive entre la quantité de biotite modale évaluée automatiquement d'après les données chimiques (biotite modale = $Fe + Mg + Ti : 5,55$) et la radioactivité ambiante mesurée par J. VALLOIS en 1966 sur les lieux de prélèvements de roches.

Comme l'ont montré les examens autoradiographiques, cette radioactivité est en majeure partie émise par les inclusions thorifères et uranifères abritées dans la biotite, dans les minéraux essentiels en particulier.

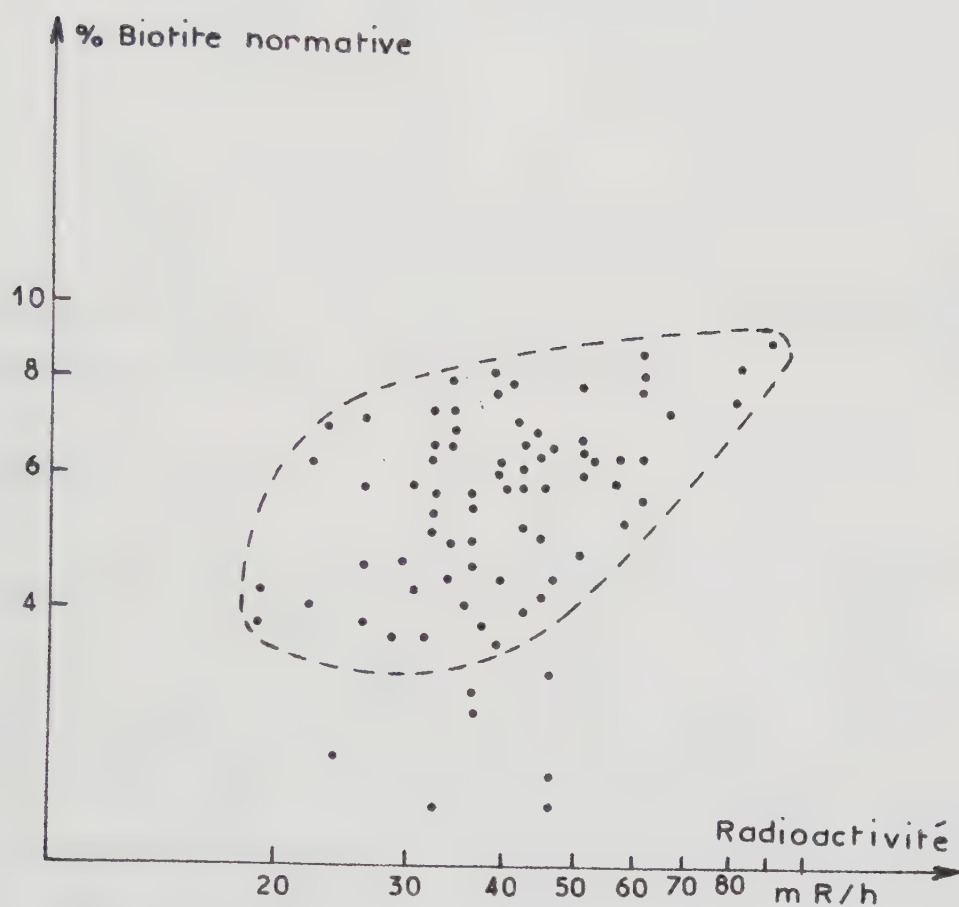


Fig. 38 : corrélation entre la quantité de biotite normative ($\text{Fe} + \text{Mg} + \text{Ti}/5,55$) et la radioactivité ambiante mesurée sur le terrain en m.R/h

DISTRICT URANIFERE	VENDEE		BRETAGNE MERIDIONALE Nord de Nantes		LIMOUSIN		CREUSE	
	U _T	Ra	U _T	Ra	U _T	Ra	U _T	Ra
Granites à 2 micas								
Granite à biotite dominante	10,5	35-40	12	46-55	12,5 *	50		22-25
Granite à muscovite dominante	6,3	20-25	7	38	9,5*	25		<20

Tableau 36 : Radioactivité (Ra) et teneurs en uranium (U_T) de districts uranifères français (R. COPPENS ; G. JURAIN 1965) .

* Résultats tirés des travaux de G. RANCHIN (1970 - P. 432)

Ces faits argumentent en faveur de la libération de l'uranium hors des structures minérales au cours de la muscovitisation.

Le rôle de ce processus autométamorphique et des éléments volatils associés est envisagé comme essentiel dans la remobilisation de l'uranium par plusieurs auteurs BARANOV et al. (1962) BEUS (1965) .

D - CONCLUSION

En vendée, le fait qu'il a pu être établi des relations générales entre les teneurs en uranium des roches et le paramètre $K_2O/(Na_2O + CaO)$ dans le cadre de la zonalité géochimique , signifie une certaine stabilité des teneurs en uranium et thorium dans les échantillonnages de surface et montre un enrichissement de l'uranium avec le caractère potassique.

Les effets de l'altération se font sentir sur la dispersion des éléments majeurs. Au voisinage de la surface des granites de Saint-Renan, la perte au feu augmente en liaison avec une diminution de densité (H. de la ROCHE et al. 1966) ; par ailleurs, les travaux de P. ISNARD, H. de la ROCHE (1966) sur le granite du Sidobre (Tarn) montrent qu'à des stades d'altération plus avancés, les éléments Na, Ca, Si subissent des départs marqués, Al et K partent peu tandis que Mg demeure stable. Il en résulte que les différences géochimiques initiales sont mieux conservées pour les éléments les moins mobiles tels que Mg, Ti, Al, K.

Par ailleurs, HARRIS et ADAMS (1966,) à propos des principales modifications physiques et chimiques entre la roche lessivée et le sol, précisent que les éléments K, Rb, Th ne sont pratiquement pas mobilisés dans les stades initiaux de l'altération. Par contre, la mobilité supergène de l'uranium est supé-

ricure à celles du thorium et du potassium comme l'ont montré ROGERS et al. (1965) en étudiant trois sondages profonds implantés dans le granite de Cornway (New Hampshire - U.S.A.).

L'altération ne perturbe pas les remaniements de l'uranium liés à la phase deutérique : plusieurs auteurs admettent le rôle joué par la muscovitisation dans la libération de l'uranium et d'autres éléments.

G. JURAIN et J.P. RENARD (1970a) proposent une explication d'un mécanisme de préconcentration géochimique de l'uranium ; cet élément est mobilisé au cours de la chloritisation des biotites, phase proche dans le temps de celle de l'albitisation ; la relation positive entre l'uranium et le rapport Fe^3/Fe^2 dans les biotites en voie de chloritisation n'est guère perturbée par l'altération supergène, l'uranium suit le fer des chlorites qui peuvent perdre une certaine fraction lessivable. La préconcentration dans les chlorites est une phase qui demeure nette malgré l'altération supergène.

L'uranium est expulsé avec le fer au cours de la muscovitisation des biotites. Une importante fraction de l'uranium, environ 30 % du stock initial est mobilisé par l'action de ce phénomène endogène régi par les conditions tectoniques et sera susceptible de donner naissance à ces concentrations exploitables ; la muscovitisation des biotites intéresse une grande profondeur de granite, puisque les observations précédentes ont concerné l'ensemble du sondage du Grand Bois jusqu'à -200 m. La convergence de l'altération supergène n'est pas réfutable : une fraction mobilisée provenant de l'altération de l'uraninite représenterait 25 à 30 % du stock uranifère initial.

Au total, la convergence des altérations deutériques et supergènes au sens large libérerait 60 % du stock uranifère des roches, cette hypothèse se vérifie au Sud du gisement de la Chapelle Largeau dans la campagne d'échantillonnages de M. ROUBAULT et R. COPPENS (1960) .

D'autres éléments, constituant avec l'uranium une paragenèse géochimique, sont mobilisés au cours des modifications endogènes subies par les biotites.

/ QUATRIEME CHAPITRE /

ELEMENTS EN TRACES ACCOMPAGNATEURS DE L'URANIUM

I - CLASSIFICATION

Inspirée des travaux de L.V. TAUSON (1965) , une classification des éléments en traces proposée par G. RANCHIN (1970) p. 369-429 tient compte de la notion de concentration géochimique du mode d'occurrence des éléments et de leur comportement dans l'évolution granitique. Les éléments sont répartis en trois groupes, suivant le rôle plus ou moins important joué par les règles de substitution diadochique dans leur comportement :

GROUPES D'ELEMENTS	ELEMENTS ETUDIES	PROPRIETES CRISTALLO-CHIMIQUES DETERMINANTES	LOCALISATION	REGLES GENERALES DICTANT LE COMPORTEMENT
<u> GROUPE I </u> Eléments structuraux des silicates principaux	$\text{Li}^+ (0,78)$ $\text{Rb}^+ (1,49)$ $\text{Ba}^{2+} (1,43)$ $\text{Sr}^{2+} (1,27)$ $\text{Be}^{2+} (0,35)$ $(\text{Si}^{4+} (0,39))$	Liaison M-O Fortement ionique Eléments "légers" Uni ou bivalents Coefficient énergétique de Ferrieman < 1	Sites structuraux des silicates principaux	Larges possibilités de substitutions isomorphiques dans les silicates principaux. Règles cristallographiques et thermodynamiques régissant la formation de solutions solides. Affinités géochimiques avec les éléments majeurs à propriétés cristallochimiques voisines
<u> GROUPE II </u> Eléments à comportement diversifié (possibilité de substitutions isomorphiques dans les silicates principaux, séparations en minéraux indépendants)	$\text{Sn}^{2+} (1,02)$ $\text{Sn}^{4+} (0,74)$ $\text{W}^{4+} (0,70)$ $\text{W}^{6+} (0,62)$ $\text{U}^{4+} (1,05)$ $\text{U}^{6+} (0,83)$	Plusieurs valences élevées Coefficients énergétiques de Ferrieman élevés ≥ 7 Rayons ioniques $< 1\text{\AA}$	Sites structuraux des silicates principaux extérieurs aux tétraèdres et Minéraux indépendants (Oxydes) Sites de minéraux accessoires Adsorption à la surface des principaux silicates	Possibilités limitées de substitutions isomorphiques dans les silicates principaux Aptitude à cristalliser sous forme de minéraux indépendants à teneurs élevées (Oxydes : uraninite, cassitérite, wolframite) Affinités géochimiques des ions complexes avec les éléments volatils (F^- , CO_3)
<u> GROUPE III </u> Eléments des minéraux accessoires usuels	$\text{Th}^{4+} (1,10)$ $\text{Zr}^{4+} (0,87)$	Eléments univalents coefficient de Ferrieman semblable à celui du Groupe II	Sites structuraux des minéraux accessoires silicatés ou phosphatés	Aucune possibilité de substitution isomorphique dans les silicates principaux Forment des minéraux accessoires même à faible teneur.

Tableau 37 : Classification des éléments en traces étudiés sur la base des règles cristallochimiques qui déterminent leur comportement dans l'évolution granitique observée en Vendée.

1) Les éléments dispersés disposant de larges possibilités de substitution isomorphe dans les minéraux silicatés principaux : lithium, rubidium, césium, baryum, strontium.

2) Ceux dont le comportement est dicté par d'autres règles que celles des remplacements isomorphiques

a) Les éléments qui disposent de possibilités de substitution diadochique et se séparent sous forme de minéraux indépendants lorsque leur teneur est suffisamment élevée : étain, wolfram, niobium, tantale, béryllium, bore.

b) Les éléments constitutifs des minéraux accessoires : terres rares, zirconium, thorium.

Cet auteur classe l'uranium dans un groupe intermédiaire entre ces deux sous groupes a et b ; du fait que cet élément cristallise sous forme d'uraninite d'une part, et peut rentrer, d'autre part, comme constituant mineur des minéraux accessoires du sous groupe b.

Les observations recueillies au cours des travaux concernant l'évolution granitique des massifs de Vendée conduisent à proposer des modifications à cette classification. Ces modifications sont consignées dans le tableau suivant : (tableau 37).

II - ELEMENTS EN TRACES DANS LES ROCHES TOTALES

Des variations nettes de certains éléments en traces, repères de la différenciation, caractérisent l'évolution du massif de Mortagne. Le comportement des éléments suivants est étudié : Sn, Li, Be, Sr, Ba ; une étude plus précise de l'étain, du tungstène, de l'uranium, du fluor et du lithium dans les minéraux phylliteux sera entreprise plus loin.

A - VARIATIONS DANS LE CADRE DE LA ZONALITE DU MASSIF DE MORTAGNE.

Un petit nombre de dosages d'éléments en traces (1) conduisent aux hypothèses suivantes émises pour l'ensemble granitique.

Les traces en lithium, rubidium, béryllium et étain sont considérées dans cet ordre, et suivant la différenciation géochimique présentée page 47-8 .

1° - Les teneurs en lithium s'accroissent au cours de l'albitisation et de la muscovitisation, depuis 160 ug/g jusqu'à 430 ug/g. Cet élément se localise surtout dans les micas.

(1) Les résultats tirés de travaux inédits aimablement communiqués par F. LEUTWEIN sont regroupés dans les tableaux 39 et 44 .

2° - Les teneurs en rubidium suivent la même évolution que celles du lithium : elles varient de 300 à 650 $\mu\text{g/g}$.

3° - Le strontium et le baryum présentent une diminution des teneurs depuis le granite porphyroïde orienté jusqu'au type "albitisé" en passant par l'intermédiaire des granites orientés à grain fin. Ces régressions sont respectivement liées à celles du calcium et du potassium, au cours de la sodification des granites.

4° - Les teneurs en béryllium s'accroissent en allant du granite migmatitique (4 $\mu\text{g/g}$) au granite porphyroïde (5-20 $\mu\text{g/g}$) microclinisé, et demeurent voisines de 10 $\mu\text{g/g}$ dans les granites à muscovite. Le béryllium accompagne essentiellement le silicium dans la charpente silicatée des micas.

5° - Les teneurs en étain des roches totales (tableau 5) s'accroissent depuis la zone migmatitique ($m = 8 \mu\text{g/g}$, $n = 2$) en passant par la zone de granites porphyroïdes ($m = 20 \mu\text{g/g}$, $n = 5$) jusqu'aux granites à muscovite dominante ($m = 49 \mu\text{g/g}$, $n = 2$)

Le granite à tourmaline de la bordure NE du massif présente une teneur plus faible (8 ppm) sachant que l'étain est surtout accueilli par la biotite, la chute de teneur de cet élément s'explique ici par la plus grande pauvreté en biotite de ce type.

L'étain en traces s'enrichit dans les roches à feldspaths potassiques albitisés, il se localise surtout dans les biotites (page 140).

ELEMENTS EN TRACES		Li		Be		Sn	
V = Massifs de Mortagne L = St Sylvestre	n	V.	L.*	V.	L.*	V.	L.*
Zone 1 Granites orientés "migmatitiques"	2	nd	100	4,7	4	7-8	7-8
Zone 2 Granites porphyroïdes	5	160-290	160-280	5-20	11-26	10-20	13-16
Zone 3 Granites à muscovite dominante	2	290-430	280-460	3-11	8-27	20-50	30-50

* In G. RANCHIN (1970 p 212)

Tableau 38 : Teneurs en Li, Be et Sn des zones géochimiques semblables des granites à deux micas de Mortagne (Vendée) et de St Sylvestre (Limousin)
(n = nombre d'échantillons étudiés en Vendée).

ROCHES TOTALES		Li	Rb	Be	Sn	BIOTITES	Li	Rb	Be	Sn
CAV.A.	2	(1) 130	300	7	10		1200	1400	15	60
	56	(2) 160	350	20	15		1300	1100	25	40
	36	290	560	7	20		1100	2800	20	200
	106	(3) 430	650	3	50		1900	3800	25	320
ORTHOSES	2	/	610	/	/	MUSCOVITES	/	/	/	/
	56	10	630	/	/		730	1000	130	150
	36	30	1100	10	20		1100	1900	40	240
	106	50	1200	/	/		1900	1800	60	320

Tableau 44 : Teneurs en lithium, rubidium, béryllium et étain dans les roches et minéraux séparés des types de granites ; dans le cadre de la différenciation et de la zonalité du massif de Mortagne: (1) phase silicoalcaline (microclinisation) ; (2) phase de la sodification (albitisation) ; (3) phase silicopotassique (muscovitisation).
Travaux inédits aimablement communiqués par M.F. LEUTWEIN.

Ces quelques données sont à rapprocher de celles déjà obtenues par G. RANCHIN (1970) dans le massif de St Sylvestre (Limousin). Le tableau 39 récapitule les valeurs extrêmes des teneurs en lithium, béryllium et étain obtenues dans les principales zones géochimiques définies précédemment et les compare à celles des zones semblables dans le massif de Saint-Sylvestre

B - RELATIONS ENTRE LES ELEMENTS EN TRACES ET L'EVOLUTION CHIMIQUE DU MASSIF.

PHASES CHIMIQUES A L'ECHELLE DU MASSIF	LOCALISATION LAMBERT DES ECHANTILLONS	Li	ELEMENTS EN TRACES			
			Teneurs exprimées en ug/g			
			Rb	Be	Sn	
Silicoalcaline {	2 (3250-2337)	130	300	7	10	
Silicosodique {	56 (336,3-2337)	160	350	20	15	
{	36 (3344-2372)	290	560	7	20	
Silicopotassique {	106* (3596-2187)	430	650	3	50	

Tableau 39 : Teneur en lithium, rubidium, béryllium et étain dans les domaines géochimiques du massif de Mortagne. Granite du gisement de la Commanderie.

Sous réserve du nombre réduit de résultats mais provenant d'échantillons types des trois domaines géochimiques individualisés et les phases chimiques correspondantes dans le massif de Mortagne (page 45), il est intéressant d'énoncer certaines hypothèses concernant les conséquences de la différenciation sur le comportement des éléments en traces.

1° - Au cours de la phase silicoalcaline, le béryllium suivrait les éléments majeurs Si, K .

2° - Avec la phase silicosodique, l'étain suivrait une évolution contraire à celle des éléments Mg, Ti.

3° - Dans la phase silicopotassique ultime, les éléments suivants : lithium, rubidium et étain prédominant et suivraient respectivement dans la muscovite les éléments majeurs magnésium, potassium et fer.

CONCLUSION

L'étude de la distribution de quelques éléments en traces particulièrement intéressants dans les roches du massif de Mortagne, renseigne sur les conséquences de la différenciation géochimique sur leur comportement.

Le lithium, le rubidium présentent une augmentation de leurs teneurs essentiellement au cours de l'évolution silicopotassique ultime du massif, qui s'exprime par la muscovitisation des biotites ; ces éléments accompagneraient respectivement le magnésium et le potassium dans la charpente silicatée des micas.

Le béryllium accuse probablement une augmentation des teneurs au cours de la phase silicoalcaline à tendance potassique.

Les granites à deux micas de Mortagne, eu égard aux clarkes respectifs de l'étain (40 $\mu\text{g/g}$) et de l'uranium (4 $\mu\text{g/g}$) dans les roches granitoïdes accusent un caractère géochimiquement uranifère et stannifère, cette dernière tendance est moins marquée que dans l'ensemble de granites à muscovite d'autres régions (80 $\mu\text{g/g}$).

Il est apparu que l'évolution ultime du massif se traduit au niveau des biotites par leur chloritisation et leur muscovitisation.

Or les minéraux phylliteux offrent des sites cristallographiques disponibles à l'entrée des éléments en traces considérés, il s'avère nécessaire d'étudier les variations de ces derniers éléments en traces dans les phyllites dans l'optique des conséquences de l'évolution granitique majeure et ultime.

III - ELEMENTS EN TRACES DANS LES MINERAUX PHYLLITEUX

Les conséquences de la différenciation géochimique du massif sur le comportement des éléments en traces sont étudiées dans les minéraux phylliteux. Dans ce but, les biotites fraîches, les biotites chloritisées et les muscovites de l'échantillonnage de surface VMR ont fait l'objet de dosages pour l'étain, l'uranium (éléments lourds), le lithium (élément léger) et le fluor (élément volatil).

La distribution de ces éléments dans les roches est, semble-t-il, peu modifiée par l'altération exogène : cela peut se vérifier pour le fluor des biotites dans les sondages du massif de Bressuire, ainsi que pour l'uranium des phyllites.

Il sera tenté de comparer le comportement de l'uranium avec celui de l'étain, en fonction de l'évolution granitique .

A - VARIATIONS DANS LE CADRE DE LA DIFFERENCIATION

L'examen des teneurs en uranium, étain, lithium des phyllites (tableau 40) amène à souligner leur enrichissement au cours de la sodification, marquée par une phase volatile riche en fluor, phase qui a été définie à l'échelle du massif :

ELEMENTS EN TRACES	ZONALITE INTRA- GRANITIQUE	SENS D'EVOLUTION DU MASSIF	GRANITES MIGMATITIQUES	GRANITES PORPHYROI- DES ORIENTES	GRANITES " ALBITISES "	
					A MUSCOVITE-BIOTITE	A MUSCOVITE-CHLORITE
U	BIOTITE		14,0 (5 à 25) n=5	27,0 (10 à 40) n=8	37,0 (10 à 90) n=9	60,0 (10 à 130) n=6
	MUSCOVITE		2,1 (1,2 à 3,0) n=3	6,9 (3,8 à 12,0) n=8	5,8 (3,7 à 6,9) n=5	5,1 (3,3 à 11,6) n=6
Sn	BIOTITE		25,0 (20 à 35) n=5	50,0 (30 à 90) n=10	100,0 (60 à 320) n=9	190,0 (170 à 210) n=2
	MUSCOVITE		44,0 (30 à 65) n=3	55,0 (42 à 150) n=9	105,0 (60 à 320) n=5	100,0 (90 à 120) n=6
Li	BIOTITE		900 (500 à 1400) n=4	1850 (100 à 2500) n=10	1950 (1500 à 3160) n=7	800 (300 à 2000) n=6
	MUSCOVITE		non déterminé	1000 (600 à 1500) n=6	1200 (30 à 2500) n=3	1000 (600 à 1500) n=3
F	BIOTITE		3500 (1800 à 5600) n=6	8500 (6000 à 12000) n=8	10000 (6000 à 14000) n=9	1000 (90 à 2300) n=6
	MUSCOVITE		1200 (40 à 2000) n=3	5200 (4300 à 9000) n=8	7600 (2400 à 9000) n=5	7200 (4000 à 9000) n=6

Tableau 40 : Distribution de l'uranium, de l'étain, du lithium et du fluor (moyennes, teneurs extrêmes, en µg/g nombre d'échantillons) dans les minéraux phylliteux des granites à deux micas du Massif de Mortagne
 → : Sens d'évolution des éléments.

<u>Biotites</u>			<u>Muscovites</u>		
25	→	100 µg/g	ETAIN	44	→ 105 µg/g
14	→	37	URANIUM	2	→ 6
800	→	1950	(1) LITHIUM (1)	600	→ 2500
3500	→	11500	FLUOR	1200	→ 7600

Cette phase majeure se prolonge par la chloritisation des biotites qui entraîne les variations suivantes :

<u>Biotites</u>		<u>Chlorites</u>
100 µg/g	ETAIN	190 µg/g
37	URANIUM	60
1950	LITHIUM	800
10000	FLUOR	1000

La diminution de la teneur en fluor, au cours de ce phénomène est considérable (voir page 143). Par contre, le comportement divergent des éléments lourds apparaît avec netteté.

Il est utile de rappeler le mode de localisation de ces éléments dans les phyllites afin d'interpréter les faits.

B - LOCALISATION DE L'ETAIN, DES ALCALINS RARES et DU FLUOR

Contrairement à l'uranium qui a tendance à former des propres minéraux, de nombreux éléments en traces sont piégés dans les sites cristallographiques variés offerts par la biotite. Parmi les éléments lithophiles figurent l'étain, le tungstène et l'uraninite. Une fraction de l'étain Sn^{4+} (0,71 Å) suit Fe^{3+} dans le réseau de la biotite (BARSUKOV 1956), dans la couche d'ions octacoordonnés où il peut se substituer aux ions Mg^{2+} (0,66 Å) et Ti^{4+} (0,68 Å). Si la teneur en Sn est de l'ordre de 600 µg/g, l'excédent se déposera probablement sous forme de cassitérite dans les lacunes du réseau des micas.

- (1) La teneur modérée en lithium des biotites exclut la présence de zinnwaldite - $\text{K}_2 \text{Li Fe}_4 \text{Al} (\text{OH}, \text{F})_4 \text{Si}_6 \text{Al}_2 \text{O}_{20}$ - minéral pneumatolytique caractéristique, par exemple, des massifs de l'Erzgebirge ; parallèlement, la teneur en lithium des muscovites est insuffisante pour qu'il y ait du lépidolite phyllite caractéristique des pegmatites sodolithiques du massif de St Sylvestre (Linousin).

Dans les granites à deux micas de Mortagne, la cassitérite ne cristallise probablement pas étant donné les faibles teneurs en étain : le comportement de l'étain, du tantale et du niobium est déterminé par leur similitude cristallographique avec le titane et le fer.

D'autres auteurs admettent le rôle joué par les propriétés physiques des phyllites dans le piégeage et l'adsorption de l'étain (L.H. AHRENS, W.R. LEIDENBERG 1950) et J. GONI 1966 .

Par ailleurs, le lithium, le rubidium et le césium entrent dans la maille cristalline des micas : l'ion Li^+ (0,78 Å) peut occuper les sites laissés disponibles par l'ion Mg^{2+} (0,66 Å), .

Le rubidium et le césium occupent les mêmes sites interfoliaires que ceux du potassium.

Enfin l'ion F^- occupe avec l'ion OH^- , les mêmes sites que les ions O^{2-} formant les sommets des octaédres du feuillet.

C - RELATIONS ENTRE LES ELEMENTS ACCOMPAGNEURS DE L'URANIUM

1° - Uranium - Etain

L'examen du comportement géochimique des éléments Sn, U se conçoit en considérant les minéraux phylliteux dans l'ordre : biotites, chlorites, muscovites.

La figure 39 illustre la croissance parallèle de l'uranium et de l'étain en fonction de l'indice ferrifère défini page 88 . Il est intéressant de constater que ces deux éléments voient leurs teneurs croître progressivement en fonction de l'indice ferrifère $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Mg}$ des biotites.

L'entrée de l'étain dans les positions octaédriques des phyllites, occupées par les ions Ti^{4+} et Mg^{2+} serait favorisée par le départ de ces ions comme le suggère la figure 40.

En définitive, il apparaît un enrichissement en uranium et en étain dans les biotites des granites albitisés, caractérisé par les valeurs les plus élevées de l'indice ferrifère (1).

(1) Au cours de la chloritisation des biotites, le rutile néoformé peut abriter l'ion Sn^{4+} en remplacement de l'ion Ti^{4+} , car d'après F. LEUTWEIN (communication orale) il y a miscibilité entre ces deux éléments à basse teneur.

Sn	U	ZONALITE DU MASSIF DE MORTAGNE	Sn/Mg	Sn/Ti
▲	▲	Granites à muscovite dominante	▲	▲
■	□	Granites porphyroïdes orientés	□	■
▼	▼	Migmatites de la bordure Sud	▼	▼

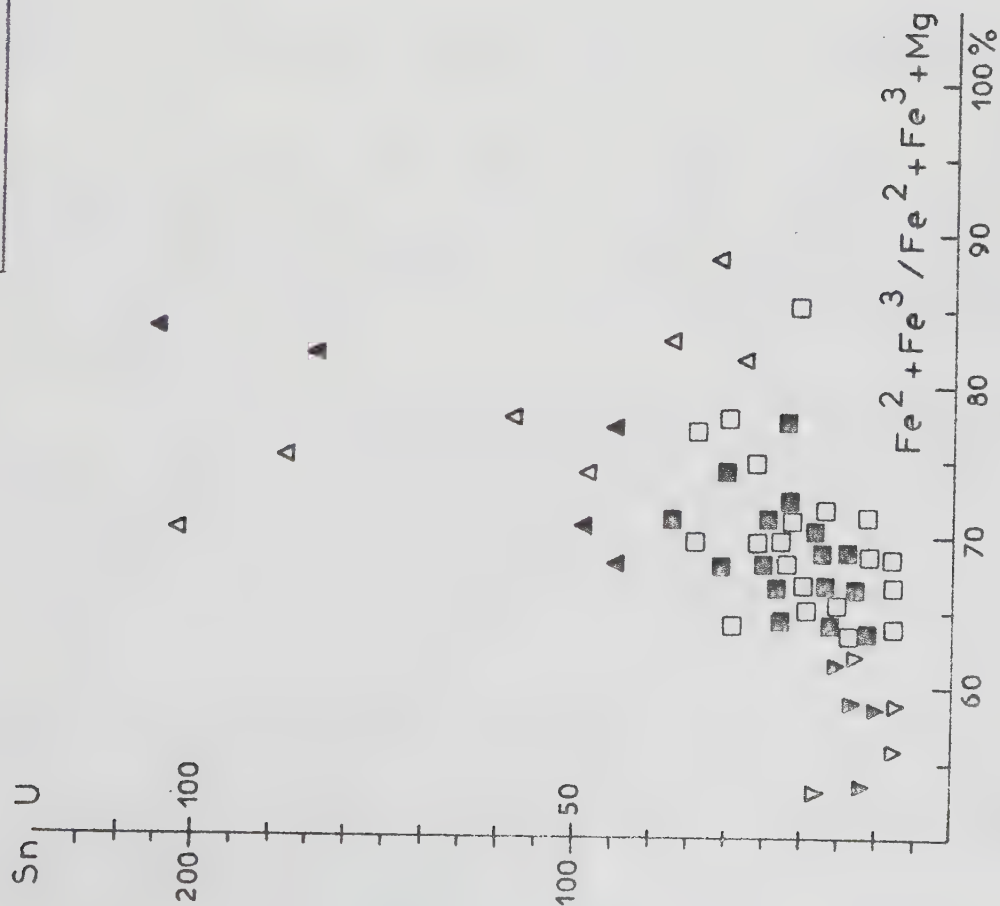


Fig. 39 : Relations entre les teneurs en étain et uranium des biotites et leurs indices ferrifères
Profil V M R - MORTAGNE

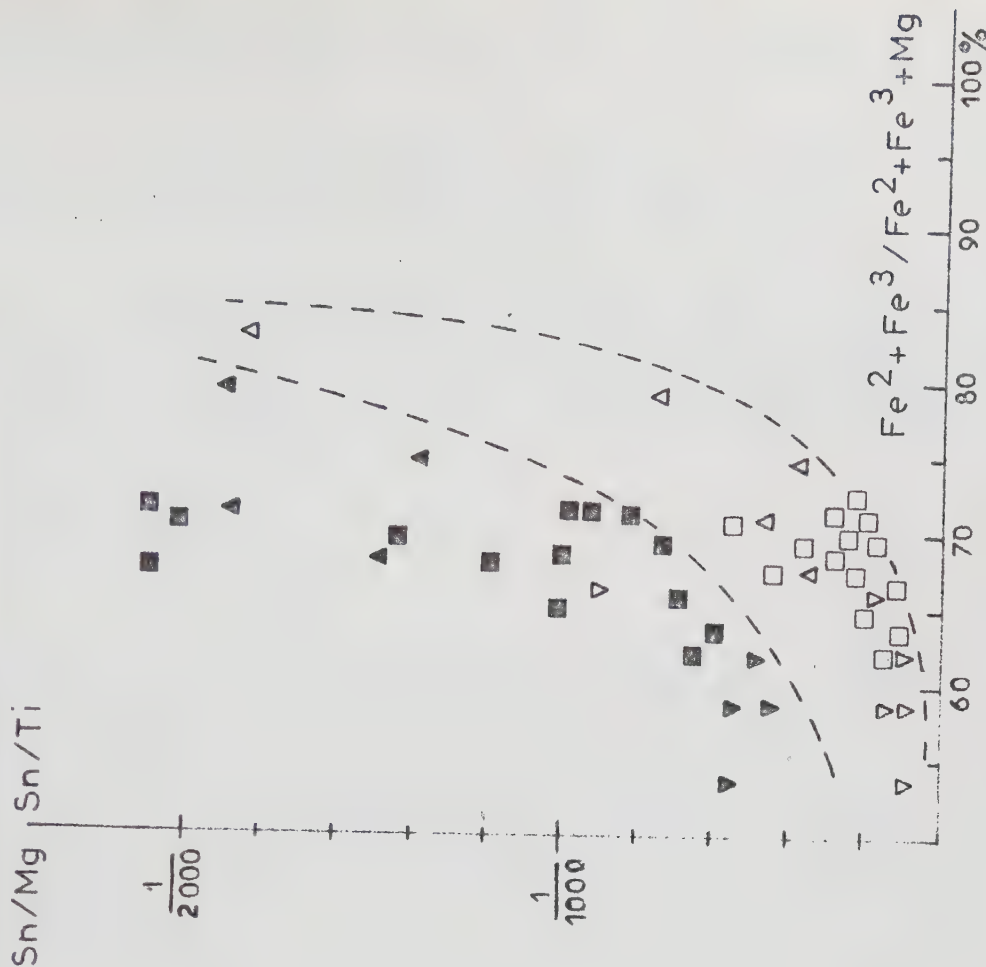


Fig. 40 : Relations entre les rapports Sn/Mg, Sn/Ti et l'indice ferrifère dans les biotites

Il est donc bien évident à présent que les remaniements supergènes n'ont pas perturbé le caractère primaire de ces relations.

Par ailleurs, le tableau 40 montre que la teneur en fluor s'accroît dans les micas au cours de la phase majeure d'albitisation.

Appartenant aux éléments volatils, le fluor joue un rôle prépondérant dans le transport de l'étain et des autres métaux au cours des phases dou-
térique et pneumatolytique, comme le souligne F. LEUTWEIN (1965) à propos
du massif de l'Erzgebirge.

2° - Fluor - Oxhydrile

Les figures 41 - 42 montrent une dépendance linéaire entre l'eau de constitution et le fluor des phyllites. Les ions oxhydriles OH^- , fluor F^- possèdent le même rayon ionique respectivement 1,33 à 1,40 Å, 1,33 Å ; lorsque l'on considère les coefficients énergétiques de Fersman des ions OH^- , et F^- , l'oxhydrile ayant le plus fort coefficient énergétique ($E_k \text{OH}^- = 2,65$ $E_k \text{F}^- = 0,36$) prend la place du fluor, qui épuisé donne naissance à la fluorine (2) (G. JURAIN J.P. RENARD (1970 a.)).

La température probable de cristallisation de la fluorine (< 300°C d'après Fersman) reste dans les limites observées dans la paragenèse de la pochblende des épi-syénites de Margnac, étudiée par J. LEROY et B. POTY (1969)

Au cours de la chloritisation, le fluor obéit donc à une migration géochimique opposée à celle de l'ion oxhydrile qui ne pouvant être accueilli par la tourmaline donne naissance à la fluorine ; ce minéral est en effet observé en bordure d'une biotite en voie de chloritisation dans le sondage du Cotte-reau (Pl; III Fig. 5)

Des néoformations de fluorine quartz, albite, adulaire sont signalées dans les épi-syénites du Limousin par J.A. SARCIA (1962) , J. LEROY, et B. POTY (1969). G. RANCHIN (1970) signale l'apparition de la fluorine dans les granites albitisés et chloritisés de St Goussaud (Massif de St Sylvestre)
Dans le granite encaissant le gisement des Brugeauds (J. SENECAI 1969) , des

- (2) On peut aussi évaluer le tonnage approximatif de fluorine et de calcédoine libéré au cours de la chloritisation ; en admettant la chloritisation complète de 1 % de biotite dont la teneur en fluor était de 1,40 % , ce phénomène a pu libérer dans un volume de 0,2 km³ =
250 000 tonnes de silice
100 000 tonnes de fluorine

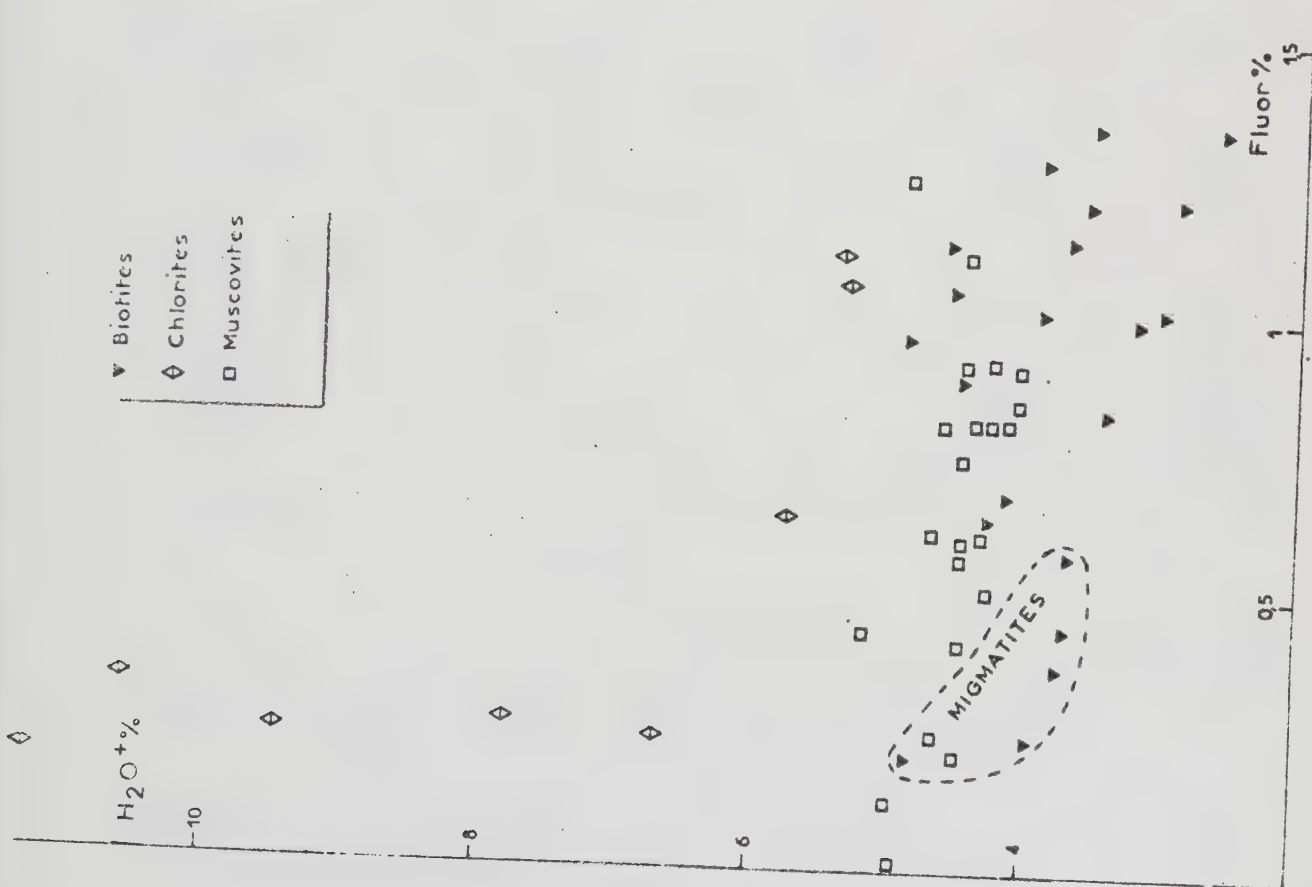


Fig. 41 : Relation inverse entre le fluor et les ions oxydrides dans les biotites en voie de chloritisation. Massif de Montagne.
IN G. JURAIN et J.P. RENARD - 1970b -

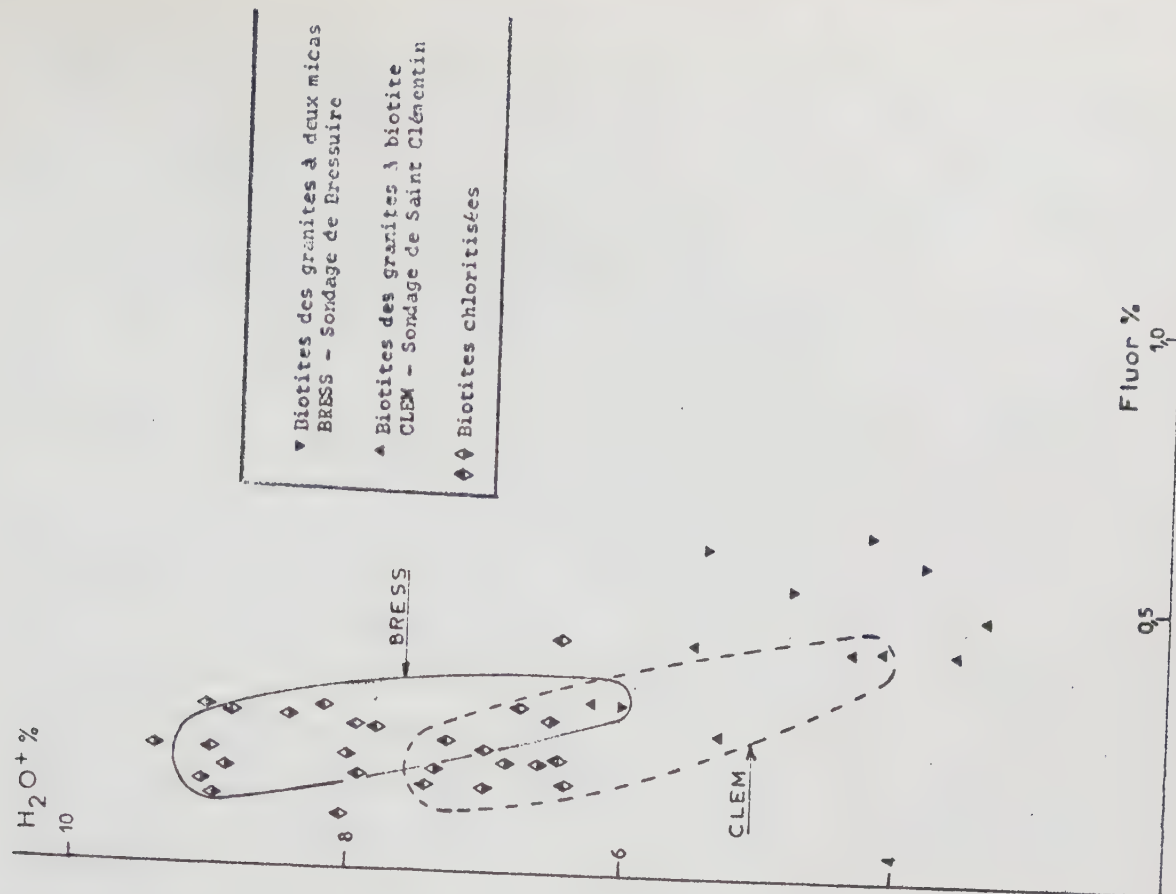


Fig.42 : Relations entre le fluor et les ions oxydrides dans les biotites du Massif de Bressuire.

lames de biotite déchiquetée, chloritisée, parfois épigénisée en hématite apparaissent ; la calcite apparaît dans les clivages de la biotite de même que la fluorine naît dans ceux de la chlorite ; l'hématitisation des plagioclases accompagne la destruction précoce d'une partie des biotites abondantes dans les lambeaux endomorphiques en voie de granitisation.

3° - Interprétation des teneurs des biotites en fluor

Les teneurs en fluor dosées dans les biotites fraîches séparées dépendraient :

- soit de l'héritage géochimique ;

Les teneurs des biotites de granites à biotite, de Moulins sont du même ordre que celles des granites à deux micas de Bressuire

- soit de l'apport fluoré ; consécutif aux processus de granitisation comme on vient de l'entrevoir pour la séquence "Mortagne". Par contre, dans le massif de Bressuire, l'enrichissement en fluor est moins net en allant des granites à biotite aux granites à deux micas, confirmant que ce granite n'a pas subi d'évolution autométamorphique aussi poussée que les granites du massif de Mortagne.

GRANITES DU MASSIF DE BRESSUIRE	ORIGINE DES BIOTITES	NOMBRE D'ECHANTILLONS	FLUOR	CHLORITISATION
A DEUX MICAS DE BRESSUIRE	Surface	5	5700	Faible
	Sondage BRESS	6	2100	Forte
A GRAIN FIN DE ST CLEMENTIN	Sondage CLEM	5	1800	Forte
A BIOTITE DE MOULINS	Surface	6	4600	Faible
		10	2100	Forte
	Sondage CLEM	4	3300	Moyenne

Tableau 41 : Teneurs moyennes en fluor des biotites des types granitiques du massif de Bressuire.

Une tentative pour faire la part entre l'héritage et l'évolution chimique dans l'interprétation des teneurs en Sn, Li, F a concerné les phyllites des granites syntectoniques de la marche (G. AUBERT 1969).

Cet auteur a montré la liaison nette qui existait entre les éléments F, Sn et Li (1) dosés dans les micas des granites de Chanon, St Sylvain et dans l'aurole pneumatolytique de Montrebras (Tableau 42).

(1) L'état d'altération ne modifie pas seulement les teneurs en P, F, B, Li, Be, Sn, W dans les micas (G.AUBERT 1969) .

Elément dosé en µg/g	Sn		Li		F	
Minéral phylliteux	Biotite	Muscovite	Biotite	Muscovite	Biotite	Muscovite
GRANITE DE CHANON	228		4190		7000	
GRANITE DE GRAND ROCHE ST SYLVAIN	1015	367	19600	4800	14000	15400
MICROGRANITE DE MONTEBRAS		654		6000		
GRANITE A MUSCOVITE		1420		2920		

Tableau 42 : Teneur en Sn, Li, F des micas dans les granites de la Marche
(G. AUBERT 1969) .

Par rapport au massif de Mortagne, ces phyllites sont beaucoup plus stannifères et lithinifères, fait traduisant une spécialisation géochimique précoce du granite de Chanon ; l'enrichissement en F, Sn, Li va de pair avec le sens d'évolution des granites à biotite vers les granites à deux micas puis à muscovite seule.

D - CONCLUSION.

La cristallisation primaire des biotites du massif de Mortagne est marquée par l'entrée d'éléments pegmatophiles, à valences élevées (uranium et groupe de l'étain), de métaux alcalins rares et d'éléments volatils dont le fluor.

Le rôle du fluor joué dans le transport des métaux au cours des phénomènes postmagmatiques est souligné par de nombreux auteurs .

Au cours de l'albitisation et de la chloritisation les biotites s'enrichissent en uranium et étain, en fonction croissante de l'indice ferrique (Fe/Fe + Mg).

L'apport fluoré a lieu au cours de l'acidification qui transforme le granite à feldspath perthitique en granite albitique, puis en granite muscovitisé. Il manque à Mortagne l'évolution vers les greisens où le fluor se réfugie dans la topaze (F. LEUTWEIN 1965) et où l'étain apparaît sous forme de cassitérite dans les zones où la muscovite présente une forte teneur en étain (K.D. PHAN - 1965) .

Au cours de la chloritisation, le fluor est libéré pour l'entrée des ions oxhydriles et peut donner naissance à la fluorine.

Les ions uranyles mobilisés peuvent former des complexes avec les anions volatils.

L'association uranium-fluor est rencontrée dans les gisements de l'Ecarpière en Vendée et de Bauzot au Morvan, sous forme de filons fluorés de pochblende.

Au cours de la muscovitisation, probablement d'origine hydrothermale, l'uranium est drainé par le fer à l'état ferrique ; l'étain et le tungstène sont mobilisés et recueillis dans la muscovite.

L'association étain-tungstène a été observée dans les éboulis quartzeux d'une bande granitique orientée (LAUCAGNE et SANSELME 1956) , et située dans la zone apicale du massif de Mortagne, qui a subi les processus de la phase douterique : albitisation

/ CINQUIEME CHAPITRE /

APPLICATION A LA PROSPECTION

EVALUATION DU DEGRE D'EVOLUTION D'UN MASSIF GRANITIQUE ET DE SA POTENTIALITE EN GISEMENTS URANIFERES.

I - HISTORIQUE DES RECHERCHES MINIERES POUR L'URANIUM

A - DOMAINES PROSPECTES POUR L'URANIUM

Les recherches du C.E.A. ont débuté en Vendée en 1950, par la prospection des granites de l'axe Parthenay-Mortagne. Les membres de la mission préliminaire Vendée-Bretagne dirigée par H.R. COTTINEAU (1951-1953) , à la suite de la découverte de la Crouzille, ont vérifié très tôt, par un raisonnement analogique que la plupart des indices uranifères étaient liés aux granites à deux micas.

Dès 1951, étaient découverts les indices des Herbiers, puis en 1952, les gros gisements de l'Ecarpière-en-Gétigné et de la Chapelle Largeau ; quelques années plus tard, les gisements de la Commanderie (1955) , de la Dorgissière et du Chardon (1957) étaient mis à jour.

En 1962, une monographie des gîtes vendéens est publiée par A. GERSTNER et ses collaborateurs.

A. GERSTNER (communication orale) considérant la position des gisements uranifères, met en relief le fait que les plus importants sont situés, plus spécialement, sur les bordures faillées des massifs de granites à deux

micas et dans leurs encaissants Nord (Roussay - Guérando - Pennaran) ; les gisements du massif de Mortagne présentent d'Ouest en Est une équidistance assez curieuse de 10 à 15 km dans l'ordre suivant : Chardon, Ecarpière, Roussay, Poitou, la Gabrielle, la Chapelle Largeau et ceux de la Commanderie et de la Dorgissière (Fig. 6 page 26).

En 1964, une étude concerne les gisements de la Bretagne du Nord et du Sud (G. GERMAIN, F. KERRELLA, F. LEBAIL) dont les massifs encaissants sont ceux de Pontivy - S. Renan - Quintin - Plouaret, Moncontour (Fig 1 page 9).

Le massif de Mortagne est devenu le plus important district uranifère du massif armoricain.

B - PRINCIPAUX GISEMENTS DU MASSIF DE MORTAGNE

Les gisements uranifères de Mortagne, appartiennent au type intragranitique de filons à pechblende dominante et à blonde, pyrite, galène, chalcoppyrite (B.P.G. C.) , et surtout à sulfures de fer, et au type de réseau de veines dans des zones fracturées avec autunite, gummite et produits noirs.

Certains caractères concernant les paragenèses, l'enveloppe lithologique et la structure des gisements sont rappelés brièvement (Tableau 4'3).

1° - Le gisement du Chardon

Décrit par G. TAYEB (1962) , ce gisement se situe sur la bordure faillée Nord du massif, à la convergence de structures E-O, N-S, et NO -SE au Sud du massif des Gabbros du Pallot étudié par A. LACROIX , 1899' puis repris par l'équipe de FORESTIER et LASNIER à Nantes.

L'encaissant du gisement est une série métamorphique infracambienne recoupée par les Gabbros ; le gîte occupe une zone de transition large de 90 à 140 m comprenant deux bandes de roches vents et de schistes métamorphiques qui enserrant deux bandes de roches quartzo-feldspathiques à tendance migmatitique. Toutes ces roches ont été décrites par B. LASNIER et J. MARCHAND (1969) .

La bordure E-O bréchifiée du massif est intersectée par l'accident argile - siliceux N.S. de la Racine. Au contact granite - grabbro se produit l'éclatement en éventail (NO - SE à N - S) du granite.

2° - Le gisement de l'Ecarpière

Décrit par H. SANSELME et J.C. ZIEGERS (1957) , puis par G. TAYEB (1962) le gisement est lié à la bordure faillée du massif , d'orientation O-E.

Le champ filonien s'allonge sur plus de 2 km parallèlement au

LOCALISATION	CHARENTON Loire Atlantique 22 km au S.E. de Nantes	ECARPIERE Maine et Loire St Crespin sur Moine	CHAPELLE LARGEAU Deux Sèvres Chapelle Largeau	COMMANDERIE Deux Sèvres Le Temple
PARAGENESES	<u>Pechblende</u> Pyrite Marcassite Galène Chalcopyrite Gangue siliceuse Calcite Fluorine	<u>Pechblende fine</u> Coffinite Pyrite Melnicovite Bréchification puis Dépôt de -Fluorine noire, Silice rouge -Fluorine et pechblende -Pyrite, Quartz gris Fluorine	<u>Pechblende</u> -Bréchification Calcédoine rouge -Ouverture et dépôt de Pyrite puis pechblende -Cimentation de silice grise	<u>Pechblende</u> Oxydes noirs sous le niveau -50m Pyrite Marcassite (Gangue siliceuse)
ALTERATION				Zone limoniteuse avec amas d'autunite Phosphuranylite Uranotile, Chalcocite et Sulfures
Enveloppe des Gisements NATURE LITHOLOGIQUE	Granites laminés Zone de transition Deux bandes de roches vertes et de schistes, une bande de gneiss, migmatites	-Granites à deux micas mylonitisés -Syénite en enclaves	Brèche granitique	Granites orientés à muscovite dominante -Zone apicale à résidus métamorphiques
FORME DES GISEMENTS	Fracturation NS La Racine Eclatement en éventail NO-SE au contact du massif de Gabbros du Pallet	Champ filonien dans zones mylonitiques voisines du contact Granite-Micaschistes briovériens	Deux groupes convergents de filons O.NO-E.SE (contact granite diorites de l'Ouin filons N.5 à N20°	-Faille majeure F1 orientée N20° -Failles F2, F3 NO-SE -Failles F4, F5 NE-SO

Tableau 43 : Quelques caractères des principaux gisements uranifères et de leur enveloppe lithologique (District de Mortagne-sur-Sèvre - Vendée).

-contact de l'encaissant souligné par la vallée de la Moine. Les filons occupent des zones broyées dans les granites et les enclaves syénitiques.

3° - Le gisement de la Chapelle Largeau

Décrit par H. SANSELME et A. GERSTNER (1958) et TAYEB (1962), ce gisement est constitué par deux formations filoniennes convergentes, l'une parallèle au contact, avec les diorites de la vallée de l'Ouin et orientée O-NO - E.S -E, l'autre d'orientation N-S à N 20° O. et qui traverse l'extrémité effilée du massif (faille F1).

4° - Le gisement de la Commanderie - Le Temple

Décrit par H. SANSELME et A. GERSTNER (1958) il est encaissé à l'intérieur de l'extrémité S.E. du massif, dans la zone apicale riche en résidus métamorphiques.

Le granite, orienté N. 55° O présente de nombreuses passées d'aprites de direction N.E. - S.O. et de pegmatites. L'accident majeur minéralisé correspond à la faille F₁ orientée N 20° O ; celle-ci s'étend de la Chapelle Largeau jusqu'à la Dorgissière. Elle correspond à une zone broyée et argileuse, comprenant quelquefois des différenciations épisyénitiques. Un banc d'aprite orienté subvertical N.E. - S.O. voit son comportement occidental rejeté de 150 m vers le Nord parallèlement à la faille F₁.

Un autre accident minéralisé est représenté par les failles F₂ F₃ orientées N.O. -S.E., parallèlement au contact Nord du massif.

La troisième direction NE - SO est formée par les failles F₄ et F₅

Les trois directions précitées délimitent un champ de diaclasses ouvertes en queue de cheval et remplies de pochéblende.

Les études géochronologiques conduites sur les minéraux fournissent des précisions concernant l'âge des minéralisations (Ch. KOSZTOLANYI, R. COPPENS 1970). Ces dernières ont donné des âges isotopiques groupés autour de 270 M.A. pour les minerais de la Commanderie, et de 250 M.A. pour ceux du Chardon et de l'Ecarpière.

Bien que tardive par rapport à l'orogénèse hercynienne, il semblerait délicat de rattacher la phase principale des minéralisations à une période postérieure à la fin de l'évolution granitique, en effet, les mesures géochronologiques effectuées sur les granites par la méthode Rb, Sr ont montré que l'évolution granitique s'est poursuivie pendant 50 M.A. après la phase principale de granitisation datée à 300 M.A. par J. SOMET (1967).

C - PROBLEMES GENETIQUES POSES PAR LES GISEMENTS

Les premières hypothèses sur l'origine des filons uranifères intragranitiques du massif Central français supposaient une genèse épithermale (J. GEFROY - J. SARCIA 1958) . .

Cependant, dès 1955, M. ROUBAULT et R. COPPENS évoquaient la possibilité d'une genèse par "sécrétion" latérale. Ils ont montré en 1959, qu'autour du gisement de la Chapelle Largeau, existe une auréole où l'uranium est moins abondant qu'à la périphérie ; c'est une zone où les inclusions microscopiques uranifères sont détruites par suite de l'altération. Le gisement pourrait provenir du drainage de l'uranium vers des pièges tectoniques où règnent des conditions physico-chimiques favorables à la concentration métallogénique de l'uranium.

GERSTNER et al. (1962) insistent sur les phénomènes d'évolution des granites à biotite transformés en granites à muscovite. Cette évolution peut provoquer la libération de l'uranium hors de ses structures de camouflage. Par ailleurs, les processus tectoniques facilitent le lessivage de l'uranium.

Le type d'évolution granitique favorable à l'existence des conditions de genèse des gisements uranifères relèverait du jeu de la tectonique (MOREAU et al. 1966) ; ces auteurs suggèrent que les gisements d'uranium intra - ou péri-granitiques proviendraient d'une profonde altération d'origine exogène, suivie d'une "percolation" par descensus vers des structures de concentration favorables.

Les fortes teneurs géochimiques en uranium du Nord Limousin sont liées à l'abondance de l'uraninite minéral accessoire des granites, très altérable dans les conditions oxydantes ; elles seraient la source des filons uranifères.

A la suite des travaux de B. POTY et de J. LEROY sur les inclusions fluides, on revient à des notions hydrothermales qui régiraient les conditions de dépôt de la pechblende.

II - BUT RECHERCHE ET METHODES

Les travaux consacrés aux roches granitiques de la bande Nantes-Parthenay, à leurs minéraux phylliteux séparés et aux minéraux accessoires ont montré que les teneurs en uranium des roches et minéraux constituants, variaient en fonction du degré de la différenciation géochimique des massifs.

A - DOMAINE CHIMIQUE DES ROCHES TOTALES

. La différenciation du massif de Mortagne a été définie par la succession des phases chimiques suivantes :

PHASES CHIMIQUES

- Précoce silicoalcaline
à tendance potassique
- Majeure à silicosodique
à tendance sodique
- Ultime silicopotassique
à tendance siliceuse

PHENOMENES MINERALOGIQUES

- Microclinisation des plagioclases
- Albitisation du feldspath potassique
- Chloritisation des biotites
- Muscovitisation de la biotite
- Séricitisation des feldspaths

L'évolution ultime reflète la tendance à la greisenisation avortée avant la phase des greisens, et s'exprime par la muscovitisation des biotites.

En géochimie de l'uranium, il est apparu une relation positive nette entre le caractère potassique des granites syncinématiques, leur stock uranifère élevé et la présence d'inclusions microscopiques d'uraninite.

L'effet de l'évolution minéralogique ultime décrite sur le comportement de l'uranium est la mobilisation de cet élément préconcentré dans les biotites et les inclusions accessoires au cours de la chloritisation, et son expulsion avec celle du fer au cours de la muscovitisation des biotites, phénomène régi par une tectonique cisailante. La muscovite se développe d'abord de manière primaire sans phénomène de remplacement au cours de l'évolution silicosodique, et de manière secondaire par remplacement de la biotite et de la chlorite au cours de la phase ultime accompagnant une phase tectonique; c'est seulement dans ce deuxième cas que nous avons parlé de muscovitisation, phénomène libérateur de l'uranium (JURAIN G., RENARD J.P. 1970 b - 1971).

Il s'est avéré utile de chercher à appliquer les conséquences pratiques de la mobilisation de l'uranium au cours de la muscovitisation des biotites.

Nous avons défini l'indice de muscovitisation des biotites en ayant recours à l'analyse modale, par le rapport $R = \text{Muscovite totale} / \text{Biotite (ou chlorite)}$. Mais d'après ce que nous venons de dire, il convient de différencier deux possibilités :

1er cas - Rapport R élevé sans apparition de phénomène de muscovitisation des biotites. On est au terme de l'évolution silicosodique mais l'évolution silicopotassique ne s'est pas produite.

2ème cas - Rapport R élevé avec muscovitisation liée à une évolution silicosodique plus ou moins accentuée à laquelle a succédé l'évolution silico-potassique marquée par la muscovitisation de la biotite et de la chlorite.

Ces deux cas sont naturellement bien différents du point de vue qui nous intéresse : celui de la détection de zones favorables à la présence d'indices minéralisés. L'usage de l'indice de muscovitisation devra donc, en tout état de cause, être accompagné d'observations pétrographiques précises sur la présence ou l'absence de l'évolution silico-potassique ultime.

A l'échelle d'observation des biotites, les teneurs en traces d'uranium doivent renseigner sur la proximité de minéralisations uranifères (auréole géochimique positive).

B - INDICE DE MUSCOVITISATION DES BIOTITES

1° - Remarque préliminaire sur la méthode

Le choix de la méthode pour l'évaluation quantitative de biotite et de muscovite au compteur de points (analyse modale) (1) sera discuté en guise de perspective.

Dans une première phase de travail, la méthode de l'évaluation de l'indice de muscovitisation a été appliquée au massif de Mortagne suivant une coupe exécutée transversalement aux structures majeures grâce aux prospections détaillées du C.E.A.

Une deuxième phase devait servir de contre épreuve puisqu'elle a été appliquée au massif de Bressuire où la prospection n'avait conduit qu'à des échecs.

Les lames minces taillées dans les échantillons ont été minutieusement étudiées au microscope. Puis à l'aide d'un compteur de points, les quantités de muscovite et de biotite saine ou chloritisée ont été estimées par I. PONCET de la Division Minière de Vendée à l'aide d'un compteur de points SWIFT.

Le rapport de la quantité modale de muscovite à celle de la biotite saine et chloritisée a été appelé indice de muscovitisation. Les valeurs ainsi obtenues ont été reportées sur les coupes complétées par les valeurs modales de la biotite ou de la chlorite exprimées en pourcent (Fig. 43 et 45).

a) Massif de Mortagne

La coupe transversale du massif - réputé pour sa richesse en indices et gisements uranifères - intéresse sa partie la plus large. Elle passe par les constellations d'indices dont le Longeron est la plus importante (Fig.43).

D'autres indices moins importants sont connus à la Petitière, aux Herbiers, à Saint-Martin des Tilleuls et à la Romagne.

b) Massif de Bressuire

Deux coupes ont été étudiées dans ce massif beaucoup plus pauvre en indices que celui de Mortagne, au niveau de la prospection détaillée.

. l'une passe par les indices du Sablon, région caractérisée par des différenciations à deux micrs tectonisées et encadrées de granite à biotite

(1) Pour quantifier ce phénomène, nous avons eu recours à l'analyse modale malgré l'imprécision de cette méthode dans le domaine de la zonalité intragranitique, mais les vérifications ont montré que les différences enregistrées étaient significatives.

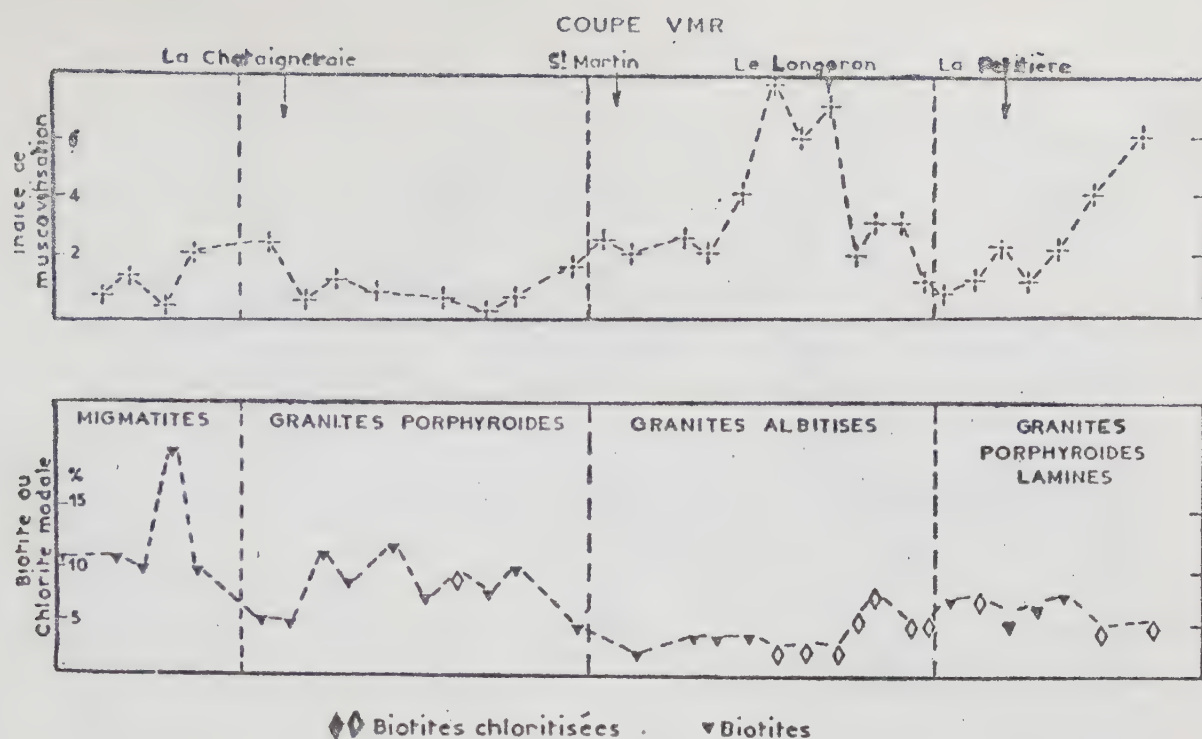


Fig. 43 : Variations de l'indice de muscovitisation et de la biotite modale le long de la coupe du massif de Mortagne.

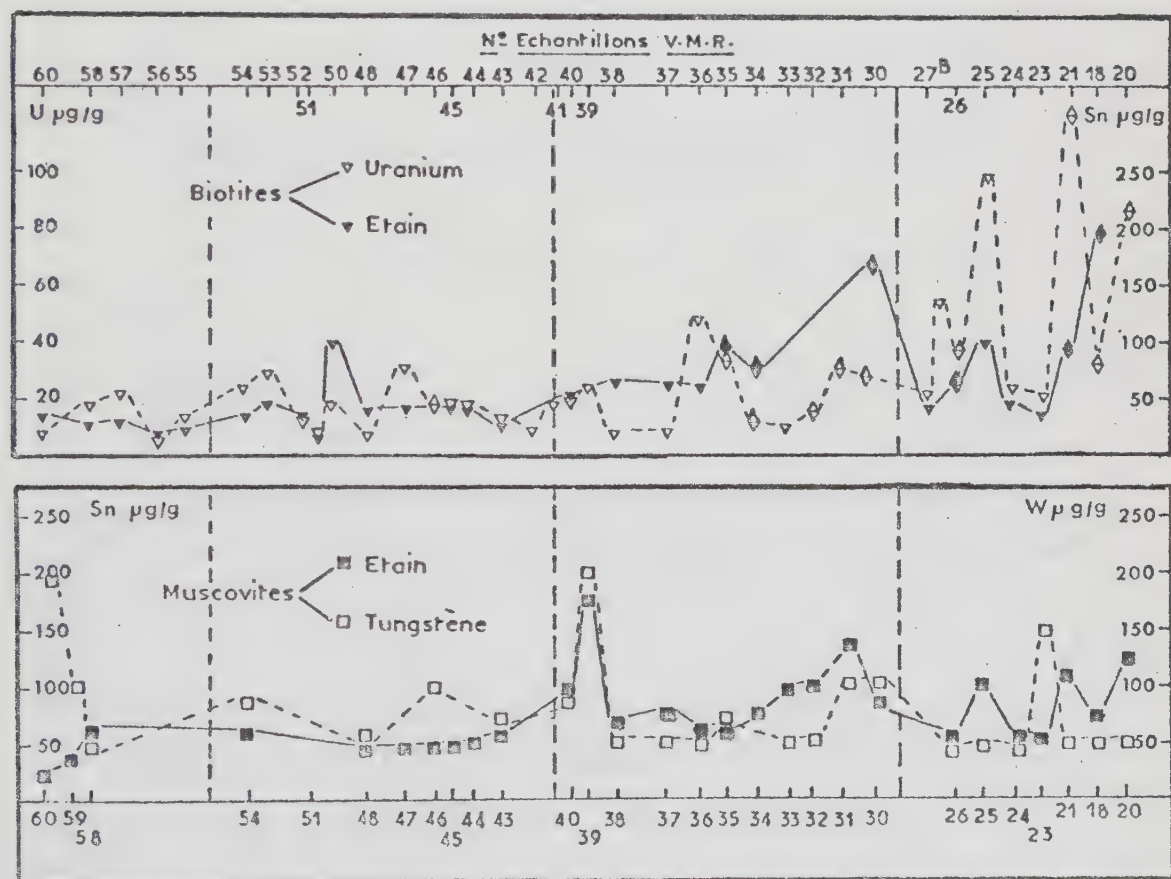


Fig. 44 : Variations des teneurs en uranium, étain et tungstène dans les minéraux phylliteux du Massif de Mortagne.

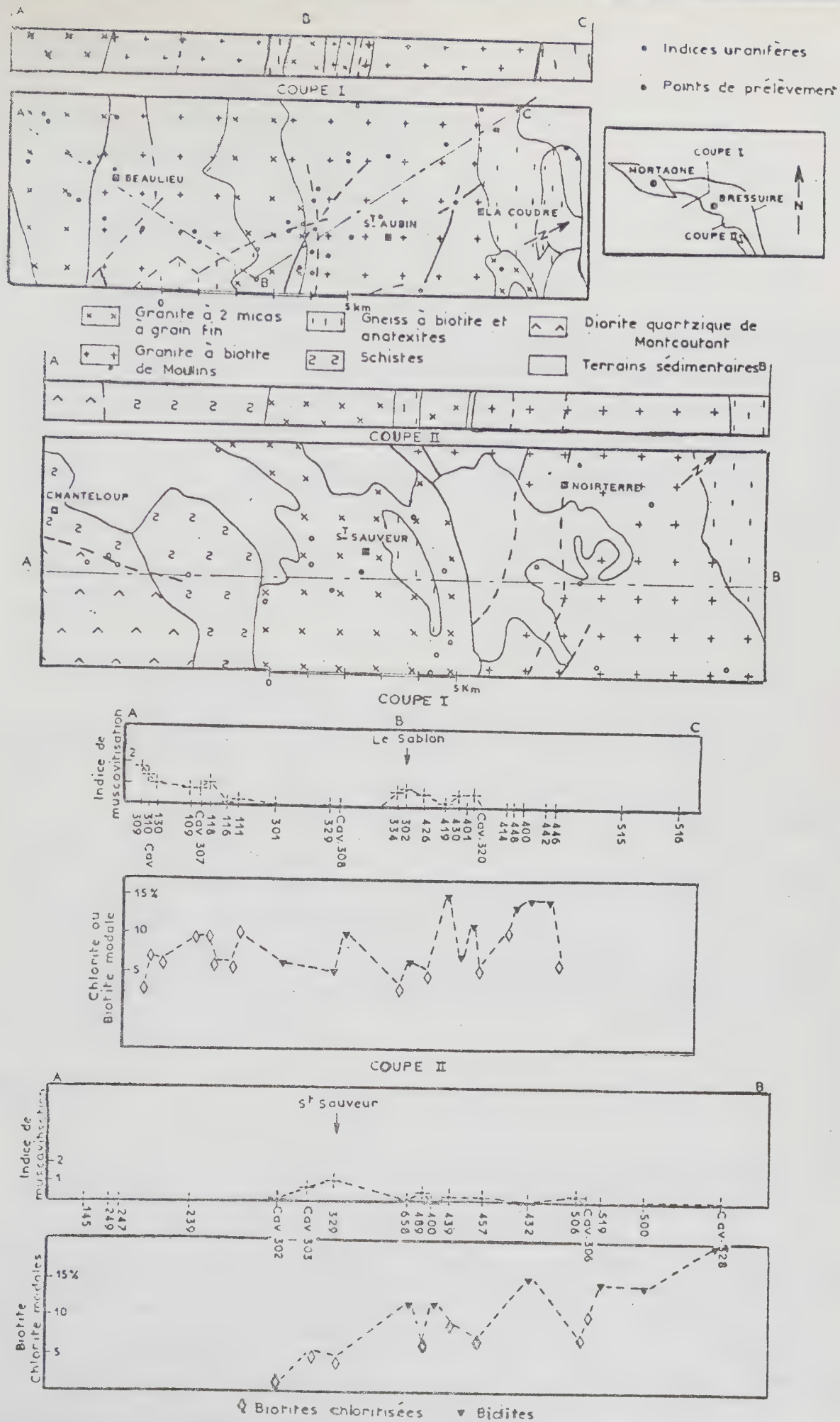


Fig. 45 : Variations de la biotite modale et de l'indice de muscovitisation dans deux profils de surface (Coupes I et II) transversaux au massif granitique de Brezère .

du type Moulins ;

. l'autre, transversale au massif, intéresse une région extrêmement pauvre en indices (ou anomalies radioactives) où seuls deux indices sont connus au Sud de Saint-Sauveur (Fig. 45).

2° - Résultats et discussions

a) Massif de Mortagne

Bien que situées dans des zones pétrographiques différentes, les diverses constellations d'indices apparaissent dans le diagramme de l'indice de muscovitisation sous forme de pics dont les valeurs sont supérieures à 2 (Fig.43).

La région située au Nord du Longeron où se situe l'indice le plus important, montre un pic extrêmement important et l'on serait tenté de mettre en liaison l'importance de l'aire du pic avec la valeur minière de l'indice.

La distribution des valeurs modales de la biotite (ou de la chlorite) indique une nette chloritisation vers le Nord de la coupe. Il s'agit là du résultat de l'évolution autométamorphique (deutérique) des biotites.

b) Massif de Bressuire

Ici encore des indices apparaissent marqués par des pics de valeur élevée de "l'indice de muscovitisation" :

- granite à deux nicas au Sud de Beaulieu ;
- indice du Sablon sur la coupe I ; pic des indices de St Sauveur sur la coupe II (Fig. 45).

Par contre, aucune des valeurs atteintes sur la coupe de Mortagne (valeurs supérieures à 2) n'apparaît ici.

En revanche, les valeurs modales de la biotites ou de la chlorite atteignent ici des valeurs extrêmement importantes au regard de celles observées sur la coupe de Mortagne.

CONCLUSIONS

L'indice de muscovitisation, défini comme étant le rapport des quantités modales de muscovite et de biotite (ou de chlorite), peut devenir un indicateur de la potentialité des gisements uranifères (1)

(1) Les réserves à formuler concernant l'imprécision de la méthode. Les comptages effectués sur une lame mince peuvent être profondément divergents comme l'ont montré ceux effectués sur les granites à deux nicas de la Marche. (P. ISNARD et H. de LA ROCHE 1968 ; il serait nécessaire d'avoir recours aux analyses chimiques qui ont le mérite d'intégrer un plus grand volume de roche. Ces auteurs ont préconisé le calcul automatique de la composition minéralogique à partir de l'analyse chimique des roches et de leurs minéraux constituants, cette méthode normative permettrait de résoudre les problèmes de l'homogénéité des données,

- puis au niveau des résultats, de la représentation cartographique.

- une valeur moyenne assez élevée de l'indice, des pics extrêmement marqués et de grande surface font présuner un secteur prometteur dans un massif granitique.

- ceci semble lié à l'évolution tardive, puisque les valeurs nodales de la biotite apparaissent bien plus élevées dans un massif réputé pauvre en indices et gisements comme celui de Bressuire.

De telles remarques viennent confirmer ce qui avait déjà été observé antérieurement : "A Bressuire, région où l'évolution granulitique n'est que sporadique, presque tous les travaux de prospection systématique ont abouti à des échecs". (GERSTNER A. et al. 1962 .

C - URANIUM, ETAIN ET TUNGSTENE DANS LES PHYLLITES DE MORTAGNE

Les dosages en uranium et étain des biotites ont mis en lumière l'accroissement de ces teneurs en fonction de l'indice ferrifère des biotites (page 88).

Les teneurs enregistrées peuvent servir à caractériser une zone de constellation d'indices minéralisés si on admet que la paragenèse initiale est déjà favorable à la présence de ces métaux.

Les biotites des échantillons prélevés dans l'environnement de filons minéralisés ou d'indices uranifères révèlent des teneurs élevées ($> 30 \mu\text{g/g}$) en cet élément (Fig. 32 - 44). Cette observation est valable pour les zones d'indices non valorisés des Herbiers, du Longeron, de la Romagne pour le massif de Mortagne, de la Coudre, du Sablon pour le massif de Bressuire (Fig. 15)

"Les biotites chloritisées ont des teneurs élevées (30 à $120 \mu\text{g/g}$) et sont localisées dans la région des indices minéralisés" (G. JURAIN et J.P. RENARD - 1970 a) .

A la suite des recherches spectrographiques pour l'étain et le tungstène il est apparu que les muscovites qui proviennent des secteurs de la Gaubrotière et de Tiffauges contiennent de fortes teneurs en tungstène qui correspondent à la proximité des indices de Wolfram. Les muscovites présentent des teneurs en étain, plus élevées au S.E. de la Gaubrotière et au N.O. de St Martin des Tillouls indiquant la probabilité d'indices dans ces deux zones

Les variations géographiques de ces teneurs, le long du profil VMR mettent en relief la richesse relative de ces deux éléments dans la partie septentrionale du massif, zone qui correspond précisément aux granites albitisés et chloritisés (Fig. 44).

On trouve dans les muscovites l'association tungstène-étain observée pour les indices du massif de Mortagne par LAUCAGNE P. et SANSELME (1956). Une vingtaine d'indices de wolframite et de cassitérite situés dans le voisinage de granites à grain fin répartis sur 25 km de long suivant la direction NO-SE consistent en filons quartzeux peu puissants ; la wolframite ferrifère s'y présente en lames ou aiguilles ; la cassitérite forme des grains millimétriques ; les sulfures qui l'accompagnent sont la pyrite, la chalcopryrite, les sulfures de cuivre associés au mispickel, la blende et le cuivre gris. La fluorine est signalée dans la gangue siliceuse, et la tourmaline se rencontre dans les granites à grain fin au voisinage des filons de quartz.

CONCLUSION

L'indice de muscovitisation défini comme étant le rapport des quantités modales de muscovite et de biotite (ou chlorite) peut devenir un indicateur de la potentialité en gisements uranifères ; (G. JURAIN , J.P. RENARD 1970 c) des valeurs élevées font présuner un massif prometteur sous réserve que les valeurs modales de la biotite soient modestes (G. JURAIN - communication orale-).

Une telle observation a déjà été faite sur les massifs de Mortagne et de Bressuire. L'interprétation porte sur la proportion de biotite effectivement remplacée par la muscovite, fraction difficile à évaluer en raison de l'abondance de la muscovite primaire. Mais statistiquement, les échantillonnages des lames minces fournissent les éléments démonstratifs pour la liaison entre la muscovitisation , la chloritisation et la présence d'indices uranifères. En fait, le rapport R muscovite/biotite ne tient compte que de la muscovite totale (primaire et secondaire) issue de la transformation de minéraux : feldspath potassique, plagioclase et biotite, traduisant aussi le degré d'évolution de l'ensemble du massif.

Les conséquences découlent de ces études accomplies dans un but pratique applicable à la prospection.

Dans la prospection stratégique, conduite à une maille kilométrique, une cartographie au 1/50 000e des régions granitiques permet une comparaison rapide des massifs à prospecter (géologie et fond géochimique).

Une sélection relativement modeste d'échantillons peu altérés suffit à circonscrire les zones dignes d'intérêt pour la prospection.

En prospection tactique, conduite à une maille hectométrique, la composition des micas (teneurs en uranium étain et tungstène), peut servir à détecter des auréoles liées à la proximité du gisement (A. BERNARD, G. JURAIN et H. de la ROCHE 1959) . L'évaluation du degré de chloritisation des

- biotites et de leur indice de muscovitisation renseigne sur la mobilisation de l'uranium et d'éléments accompagnateurs, tels que le fluor et l'étain. Elle permet de circonscrire les zones les plus favorables à la présence de constellations d'indices minéralisés, c'est à dire des domaines où la prospection systématique a le plus de probabilité de se révéler fructueuse.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

GÉOLOGIE, PETROGRAPHIE et GÉOCHIMIE

Les échantillonnages réalisés en surface et en sondages parmi les principaux districts minéralisés en uranium des massifs de Vendée apportent des connaissances nouvelles relatives à la géochimie des éléments majeurs et en traces dans les roches et dans les minéraux.

Les études fondées sur les informations géologiques réunies depuis 1950 par les équipes du C.E.A. , les importants échantillonnages systématiques et l'utilisation des analyses chimiques en grande série au C.R.P.G. de Nancy, ont eu pour objectif scientifique et technique d'élaborer des hypothèses au sujet de la concentration de l'uranium en fonction de la nature des granites et dégager ainsi des guides susceptibles d'orienter la prospection des gisements uranifères.

La méthode, qui a prévalu dans ces études, consiste en la recherche des liens pouvant exister entre les teneurs en uranium des roches ou des micas et d'autres éléments majeurs ou en traces ; les éléments, qui sont les plus stables dans l'altération supergène servent à suivre le comportement endogène de l'uranium dans le cadre de la zonalité intragranitique.

Les conséquences de l'évolution granitique sur la paragenèse de l'uranium ont été envisagées en fonction des formes minéralogiques primaires que prend cet élément : uraninite, minéraux transparents, uranium lié aux minéraux phylliteux ; ceux-ci ont été séparés avec l'espoir de saisir un mécanisme de préconcentration géochimique de l'uranium. Les conséquences pratiques des hypothèses qui en découlent ont été appliquées à la prospection, dans la perspective de circonscrire des aires favorables à la présence de corps minéralisés.

* * *

Le massif cristallin de Mortagne est situé dans le prolongement Sud-Est de la zone broyée sud-armoricaine .

Les granites syncinématiques de ce massif émergent d'une zone anticlinale de schistes cristallins parfois migmatisés et comprise entre les synclinaux primaires de Chantonay au Sud et de Cholet au Nord ; ils s'épanouissent intrusivement vers le Sud-Est en un lobe post-cinématique, en contact tectonique avec l'ensemble du massif de Bressuire constitué par les granites à biotite de Moulins, les granites à deux micas de Bressuire et enveloppent des panneaux d'anatexites du type Aubusson.

L'étude des bordures met l'accent sur la dissymétrie de l'édifice : en continuité structurale au Sud, avec les gneiss à biotite-sillimanite des Herbiers, sa bordure laminée au Nord, chevauche l'encaissant métamorphique induré par des moles plutoniques basiques et acides (Gabbros du Pallet, massifs de granites à biotite de Roussay, de St Germain sur Moine, de St André de la Marche, roches vertes et diorites de la vallée d' l'Ouin).

Une telle disposition structurale s'accompagne d'une zonalité interne parallèle à la direction axiale de l'édifice de forme fuselée ; on y distingue du SO au NE :

- une entité renflée de gneiss et migmatites
- un lobe de granites porphyroïdes dont l'orientation des enclaves et des linéations dessine une double inflexion et vient se mouler au SO sur la direction sudarmoricaine.
- deux principales apophyses de granites à structure équante et disposées à la périphérie orientale des granites syncinématiques précédents.

La disparition progressive des enclaves gneissiques tandis que s'estompe le caractère syntectonique renforce le caractère intrusif de la partie S.E. dont la bordure N.E. présente localement une différenciation aplitique marginale.

Dans ce massif tardihercynien, il reste malgré tout de nombreux problèmes non résolus : âge du métamorphisme et origine des migmatites de la bordure Sud, et de la granitisation de l'encaissant métamorphique septentrional.

Schématiquement, on peut reconnaître dans le temps les phases suivantes :

- phase antécambrienne de sédimentation (Briovérien moyen (?) phase métamorphique conduisant à la formation des micaschistes et amphibolites.
- phase de plissement provoquant des structures, de grande amplitude d'axe 90° à 105°, émergeant en cordillère : cordillère ligérienne.

La sédimentation silurienne qui s'installe est préorogénique vis-à-vis de l'orogénèse hercynienne entraînant la succession des phases :

- de granitisation du type Roussay, envahissant une zone d'anatexites et de roches vertes,
- d'une rétro-morphose des granites de Roussay et des micaschistes dans l'épizone,
- de l'intrusion syntectonique des granites à deux micas de Mortagne.

Les études géochronologiques réalisées par J. SONET ont attribué à la phase asturienne cisailante - 300 M.A. $\pm$ 10 la granitisation au niveau du massif de Mortagne. L'évolution granitique s'est étendue sur une durée de 50 M.A. ainsi que l'indique la dispersion des âges obtenus sur les biotites et les orthoses.

L'histoire tectonique de la partie .S.E. du massif est complexe : des failles précoces Est-Ouest ont subsisté, l'extrémité S.E. effilée a subi la fracturation de direction subméridienne et rapportée à la phase saaliennne (?) - 260 M.A. - à laquelle se rattacherait le phénomène métallogénique principal de l'uranium.

La zonalité du massif s'illustre par la répartition des principales associations minéralogiques suivantes :

Microcline - Oligoclase - Biotite - Sillimanite - Muscovite .

Feldspath potassique - Perthites - Biotite - Muscovite .

Albite - Microcline - Muscovite - Biotite - Chlorite.

L'observation microscopique associée à l'étude chimique a permis de dégager les conséquences de l'évolution chimique du massif sur les phénomènes minéralogiques; les granites à deux micas présentent la succession de trois phases :

- silico-alkaline à tendance potassique; elle s'exprime au niveau des migmatites par la microclinisation du plagioclase.

- silico-sodique ; la sodification est responsable de l'albitisation du feldspath potassique,

- silico-potassique; cette phase ultime, discordante par rapport à la précédente, consiste en la muscovitisation des biotites, véritable tendance à la greisenisation. Elle est liée à un épisode de microcisaillement.

L'évolution du massif cesse avant la phase pneumatolytique qui est accompagnée de filons de greisens dans d'autres régions (1).

Au niveau de l'encaissant du gisement de l'Ecarpière, les granites et syénites ont subi la muscovitisation postérieurement à la chloritisation des biotites. Dans ce cas précis, il s'est produit en liaison avec la bréchification, une brusque accentuation de l'évolution silicopotassique de telle sorte que la composition des granites tend vers celle de greisens, et que des silicifications s'amorcent.

Par ailleurs, les encaissants des gisements du Chardon, de l'Ecarpière, de la Commanderie et de la Chapelle Largeau ont été le siège d'un recouvrement temporel entre l'albitisation du feldspath potassique et la pseudomorphose des biotites en muscovite, phénomènes attribués respectivement à la sodification et à la phase silicopotassique ultime amplifiée par rapport à celle définie à l'échelle du massif.

La comparaison de l'évolution chimique du massif de Mortagne avec celle des granites du massif de Bressuire met en relief le fait que dans le dernier, l'évolution à tendance silico-sodique des granites à deux micas est discordante par rapport à l'axe silico-alkalin de l'évolution des granites à biotite de Moulins. Le terrain révèle l'existence de termes intermédiaires à caractère souvent porphyroïde entre ces deux types malgré la présence de la faille de Bressuire entre les deux entités.

L'argument géochimique de leur filiation probable réside dans la conservation du caractère granodioritique évalué par le paramètre $K - (Na + Ca)$; mais dans les deux groupes de granites l'évolution silico-potassique ultérieure définie à Mortagne fait ici défaut.

Le massif de Mortagne aurait été le siège dans sa bordure Sud d'une mobilisation plus ou moins **incomplète** liée à la granitisation des gneiss à caractère silico alumineux et potassique, tandis que le massif de Bressuire, malgré son évolution conserve un caractère calcosodique.

(1) Par exemple, cette phase ultime est atteinte dans des massifs de granite à deux micas présentant des indices uranifères mais décevants au point de vue minier : St Renan-Kersaint en Bretagne, Saint Symphorien de Marmagne dans le Sud Autunois.

Vouloir faire la part entre l'héritage géochimique et l'évolution autométamorphique demeure délicat : le caractère alumineux et potassique des résidus gneissiques assimilés par le granite, se retrouve dans la tendance évolutive chimique ultime avec la mobilisation des ions Si^{4+} , Al^{3+} et K^{+} libérés au cours de l'albitisation et de la chloritisation, puis recombinaison pour donner naissance à la muscovite secondaire. Il semble, par conséquent, intéressant d'envisager l'évolution autométamorphique du massif de Mortagne sous l'angle de réajustements minéralogiques successifs liés aux mobilisations d'éléments hérités au niveau des schistes cristallins profonds. Le développement relatif de chlorite et de muscovite secondaire aux dépens de la biotite serait lié aux conditions tectoniques.

En définitive, l'ensemble des granites uranifères de Vendée se subdivise en deux groupes :

- d'une part des granites à deux micas associés à des granites monzonitiques à tendance potassique;
- d'autre part les granites à biotite à tendance granodioritique.

Les remarques faites sur ces deux groupes montrent l'importance particulière de la phase ultime d'évolution silicopotassique. Il s'agit là d'un phénomène général puisque le massif de St. Sylvestre au Limousin révèle comme à Mortagne une tendance discrète vers la greisenisation marquée par l'apparition sporadique de minéralisations caractéristiques : cassitérite, wolframite

COMPOSITION DES MINERAUX PHYLLITEUX

Les travaux conduits sur les minéraux phylliteux séparés ont permis de recueillir des informations ayant trait à l'incidence de l'évolution granitique sur leur composition chimique :

La discordance évolutive observée entre les granites à biotites et les granites à deux micas s'accuse également au niveau des biotites:

- les biotites des granites à biotite ont subi une dérive à caractère silico-potassique conforme au sens d'évolution des roches totales : les paramètres majeurs Si/Al et $\text{K}/(\text{Na} + \text{Ca})$ s'accroissent dans le sens d'évolution des massifs (Moulins - Roussay - La Renaudière).

- les biotites des granites à deux micas associées aux muscovites, montrent une évolution vers la chloritisation parallèlement à l'axe de sodification des roches totales ; ce qui les oppose à l'évolution entrevue dans les biotites des granites à biotite seule. Il s'est avéré nécessaire de repérer leur évolution primaire par le choix de l'indice ferrique $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$, paramètre que plusieurs auteurs ont rattaché aux conditions de cristallisation;

l'indice ferrifère, indépendant de l'altération (au sens large) sert à définir le degré d'évolution des biotites en rapport avec le réajustement de leur composition lié à la substitution isomorphique $\text{Fe}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$.

A l'échelle de la zonalité des massifs, les biotites prélevées systématiquement suivant le profil transversal de la séquence type de Mortagne, sont caractérisées par une tendance ferrifère voisine de celle des sidérophyllites.

Ainsi se manifeste la convergence entre l'évolution silico-sodique des roches totales et l'évolution chimique des biotites ferrifères vers les sidérophyllites, tendance bien marquée au cours de l'albitisation avant même qu'intervienne l'évolution silico potassique amorçant la greisenisation.

A cette évolution majeure se superposent des transformations importantes : la chloritisation, parfois la muscovitisation.

La chloritisation est un phénomène convergent dans les deux types principaux de granites à biotite seule et à deux micas. Elle est caractérisée par le départ des ions potassium du réseau des biotites concomitamment à l'entrée des ions oxhydriles et doit être considérée comme une altération endogène des biotites liée à la phase deutérique.

L'entrée des ions oxhydriles dans le réseau de la biotite provoque l'expulsion du fluor ; celui-ci pouvant se combiner à l'ion calcium pour former la fluorine.

La chloritisation est indépendante des altérations météoriques puisqu'elle accompagne l'albitisation qui ne saurait être rapportée à un phénomène de la surface. On sait de plus que le potassium est peu mobile dans les stades initiaux de l'altération supergène.

En définitive, la chloritisation affecte les biotites des granites ayant subi l'albitisation et se poursuit jusque dans les phases ultimes marquées par la muscovitisation des biotites; cette tendance s'accroît à la périphérie du lobe syncinématique, zone favorable au télescope des paragenèses.

- La muscovitisation des biotites est un phénomène endogène ultime qui survient dans les zones tectonisées; au cours de ce phénomène brutal par rapport à celui de la chloritisation les ions Si^{4+} , Al^{3+} , K^{+} libérés par la chloritisation se combineraient pour former la muscovite secondaire.

Toutefois, le bilan chimique de telles transformations est quasiment impossible à chiffrer.

GEOCHIMIE DE L'URANIUM

- La recherche des liens éventuels entre la distribution des teneurs en uranium et les éléments majeurs ou en traces est abordée dans les roches puis dans les minéraux phylliteux séparés. Les biotites abritent des minéraux radioactifs opaques et transparents.

Ils y subissent les phénomènes de chloritisation et de muscovitisation, processus au cours desquels l'uranium peut être mobilisé.

L'uranium entraîné avec d'autres éléments au cours des phénomènes d'évolution, peut donner lieu à des concentrations seulement après avoir été libéré de ses structures minérales puis mobilisé sous forme d'ions uranyles.

L'uranium apparaît dans les granites sous plusieurs formes :

- son minéral propre : l'uraninite
- comme constituant mineur dans les zircons, apatites et sphènes et les minéraux thorifères : thorites, monazites et allanites.
- à l'état adsorbé sur les discontinuités physiques des biotites et de leurs produits d'altération endogène : chlorite, leucoxène, hématite, rutile.

La nature du cortège des minéraux accessoires des roches peu altérées conditionne l'importance de l'uranium mobile mis en disponibilité lors des remaniements endogènes et supergènes.

Les roches étudiées montrant des différenciations métamorphiques et granitiques marquées dans la bande Nantes-Parthenay.

La distribution des teneurs en uranium des roches de surface est envisagée sous les aspects suivants :

- l'héritage métamorphique
- l'évolution chimique de la séquence Mortagne.
- l'importance de l'uraninite et de la paragenèse de l'uranium.

Le comportement endogène de cet élément a pu être suivi en liaison à celui d'éléments stables au cours de l'altération, ainsi que dans les minéraux phylliteux.

Le massif de Mortagne est très uranifère. La teneur géochimique moyenne de surface atteint 10 $\mu\text{g/g}$ d'uranium. Les gneiss des Herbiers sont des roches migmatisées qui se rapprochent le plus des granites à deux micas par leurs teneurs en uranium : 7 $\mu\text{g/g}$; valeur caractérisant les résidus orientés à grain fin des granites porphyroïdes de Mortagne. De même, la similitude des teneurs en thorium des granites porphyroïdes et des migmatites (45 $\mu\text{g/g}$) laisse entrevoir le rôle de l'héritage géochimique des granites à deux micas au niveau des migmatites des Herbiers.

Par contre, les granites à biotite de Moulins et de Roussay, situés au Nord du massif sont peu uranifères : 4 $\mu\text{g/g}$, de même que leur encaissant micaschisteux : 2 à 3 $\mu\text{g/g}$. Ces roches sont en contact par faille avec le massif de Mortagne dont les conditions de gisement sont gouvernées par la tectonique syncinématique et tardigranitique.

Les relations entre la tendance potassique et l'uranium géochimique des granites à biotite ou à deux micas s'illustrent par la relation positive entre les teneurs en uranium et le rapport $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$ des types pétrographiques. Cette relation justifie l'intérêt porté aux échantillonnages de surface.

Les teneurs en uranium, observées dans les granites à deux micas de la bande Nantes-Parthenay décroissent dans l'ordre suivant :

- Mortagne	(10 $\mu\text{g/g}$)
- Parthenay	(8,5 $\mu\text{g/g}$)
- Neuvy-Bouin	(6-7 $\mu\text{g/g}$)
- Bressuire	(4-5 $\mu\text{g/g}$)

Dans le cadre de la zonalité du massif de Mortagne, il se produit une augmentation progressive des teneurs en uranium, de 8 à 12 $\mu\text{g/g}$, dans les granites à biotite dominante en liaison, avec la phase silicoalcaline à tendance potassique.

Au cours de la phase silicosodique majeure, le baryum et strontium, éléments d'affinité voisine à celle du potassium et du calcium ne sont pas entraînés ; il en est de même pour le thorium. Par contre, l'uranium est libéré des minéraux accessoires entraînés au cours de la métasomatose sodique ; cette dernière survient selon des modalités variées :

- intense dans les massifs de Mortagne et localement dans le massif de Parthenay et la bordure orientale du massif de Neuvy-Bouin
- absente dans le massif de la Renaudière, qui, plus uranifère que

celui de Mortagne, a conservé l'uranium sous une forme non mobilisable dans les réseaux silicatés ou phosphatés des minéraux accessoires.

Dans le massif de Bressuire, le caractère granodioritique peu favorable à l'uranium est conservé dans les granites à deux micas de Bressuire.

Les granites de la bande Nantes-Parthenay, dont le clarko dépasse 700 µg/g d'uranium contiennent des inclusions microscopiques d'uraninite (Mortagne-Parthenay - Neuvy-Bouin zone Est) ; ce minéral se localise dans les minéraux cardinaux et essentiels des granites de Mortagne (quartz, feldspath-micas) ; les minéraux phylliteux en abritent 50 % du nombre total de cristaux comptés en lame mince. Dans l'encaissant du gisement de la Commanderie, l'association uraninite-apatite s'accompagne d'un cortège d'éléments (thorium, terres rares : césium, lanthane, yttrium) qui caractérisent la gangue auréolaire des cristaux.

Au cours de la chloritisation et de la muscovitisation endogène des biotites, l'uraninite est détruite, processus mettant probablement en jeu la mobilisation de l'uranium.

Les dosages de cet élément dans les minéraux phylliteux ont révélé que les biotites le préconcentrent de trois à six fois et en retiennent de 30 à 40 % par rapport aux roches totales.

L'existence de relations positives entre les teneurs en uranium et en étain et l'indice ferrifère des biotites traduit un enrichissement primaire peu perturbé par les remaniements supergènes.

Ces éléments à forte charge et à plusieurs valences tendent à se concentrer dans les biotites au cours de l'évolution granitique repérée par l'indice ferrifère.

Il en est de même pour les métaux alcalins rares : lithium, rubidium, césium, éléments dont le comportement est régi par :

- les substitutions isomorphiques,
- les conditions de cristallisation

L'uranium et l'étain entrent tous deux dans le groupe des éléments à plusieurs valences élevées, caractérisés par leur aptitude à former des minéraux indépendants et leur affinité géochimique de leurs ions complexes pour ces éléments volatils (fluor..)

L'uranium est plus enclin à former son minéral propre, à des teneurs inférieures à celles requises par l'étain pour la formation de cassitérite ; ceci est dû au fait que l'uranium présente des possibilités de substitution isomorphique moindres que celles de l'étain.

Au cours de la phase de chloritisation les biotites préconcentrent l'uranium⁽¹⁾ et l'étain jusqu'à des teneurs de l'ordre de 120 µg/g. Le fluor accuse un comportement divergent puisqu'il est chassé par l'entrée des ions oxhydriles dans la maille cristalline de la biotite.

Au cours de la pseudomorphose de la biotite en muscovite, 80 % de l'uranium et du fer contenus dans les biotites sont libérés ; cette observation fournit un mécanisme de préconcentration géochimique de l'uranium et il explique l'origine de la fraction mise en jeu dans les processus métallogéniques de concentration, hypothèse renforcée par le contrôle tectonique de la muscovitisation des biotites.

Cette mobilisation endogène converge dans les zones tectoniques de Mortagne avec les processus de remaniements supergènes ; l'altération de l'uraninite est gouvernée par l'altérabilité des minéraux essentiels hôtes ; les parts respectives prises par ces mobilisations s'élèvent à 30 % de l'uranium de la roche totale.

En Vendée et au Limousin, ce sont les granites à deux micas, dont l'évolution silicopotassique est importante, qui se révèlent être les plus aptes à abriter les gisements uranifères.

Toutes les études entreprises convergent pour souligner à nouveau le rôle du potassium dans la libération de l'uranium camouflé dans les minéraux accessoires, puis mobilisé au cours de l'autométasomatose sodique et potassique ultime de l'évolution granitique.

(1) La relation positive qui existe entre le rapport Fe^3/Fe^2 et la teneur en uranium des biotites et chlorites, malgré le lessivage supergène, montrerait le rôle joué par l'oxydation endogène du fer dans la préconcentration de l'uranium.

APPLICATION A LA PROSPECTION

La recherche de critères géochimiques servant de guides pour la prospection des concentrations uranifères de type intragranitique est une démarche fondée sur l'exploitation des données tirées d'échantillonnages systématiques en surface.

Cette étude est circonscrite aux granites à deux micas de Vendée, ensemble dont la différenciation diffère de celle des granites à biotite d'autres districts uranifères (Forez - Morvan pro parte).

Les caractères géologiques et géochimiques, réunis sur le district uranifère de Mortagne-sur-Sèvre servent à établir des règles applicables à la prospection de tels ensembles pétrographiques.

Trois échelles d'observation se dessinent aux yeux du géologue ayant l'intention de rechercher des aires favorables à la présence de constellations d'indices :

- l'évolution chimique du massif ;
- la nature des minéraux phyllitoux ;
- la paragenèse de l'uranium dans les biotites.

La connaissance géologique des structures majeures demeure fondamentale pour orienter l'échantillonnage et en adapter la maille.

D'autres caractères essentiels des massifs uranifères sont apparus :

- relation entre la teneur moyenne en uranium et le rapport

$K_2O/Na_2O + CaO$;

- présence de cristaux microscopiques d'uraninite dans les phyllites, en relation avec une teneur fondamentale élevée en surface (10 ug/g).

Ces données encouragent une sélection régionale de domaines granitiques susceptibles d'abriter des gisements.

- La muscovitisation des biotites en liaison avec l'évolution chimique ultime du massif est un mécanisme de préconcentration géochimique de l'uranium, éventuellement du tungstène et de l'étain et de libération du fer au maximum de sa valence.

- La chloritisation libère le fluor et mobilise l'uranium.

Bien que ces processus ne participent pas directement au phénomène de concentration métallogénique, il est apparu une corrélation spatiale entre les aires à biotites muscovitisées, celles des chlorites et les constellations d'indices.

L'évaluation systématique au microscope, de l'indice de muscovitisation défini par le rapport modal Muscovite/Biotite peut devenir un indicateur de la potentialité en gisements uranifères.

Après avoir démontré la validité de cette méthode simple dans le massif de Mortagne, une contre épreuve a pu être vérifiée sur le massif de Bressuire.

L'étude chimique des minéraux séparés a permis de corner d'autres problèmes.

La recherche et le dosage de l'uranium, de l'étain, du tungstène sur les phyllites de ces granites à deux micas a permis de mettre en évidence des variations de teneurs significatives autour des indices déjà connus.

En somme, une telle étude permet à l'échelle régionale une cartographie des associations minéralogiques, voire paragenétiques ; il s'agit d'une prospection stratégique.

A une plus petite échelle, la distribution des teneurs en uranium, étain et tungstène des micas permet la localisation des indices minéralisés : prospection tactique.

Ces études pétrographiques et géochimiques s'insèrent dans le cadre de celles entreprises des divers phénomènes mobilisateurs de l'uranium dont la convergence a pu donner naissance à des concentrations uranifères.

BIBLIOGRAPHIE

AHRENS L.H. and LIEBENBERG W.R. (1950)

Tin and Indium in mica as determined spectrochemically -
Am. Mineralogist - Vol. 35 - pp 571 - 578.

ARNOLD M., KURTBAS K., RANCHIN G. (1968)

Différenciations pétrographiques et géochimiques dans la partie Ouest du
massif granitique de Guéret - (Massif Central français) - Sciences de la
Terre - Nancy, t. XIII, n° 4, p. 323 - 358 , 4 fig. - 3 tabl.

AUBERT G. (1969)

Les coupoles granitiques de Montebbras et d'Echassières (Massif Central
français) et la genèse de leur minéralisation en étain, lithium, tungstène
et béryllium, Mém. B.R.G.M. Orléans - n° 46 - 345 p. , 54 fig., 41 pl.,
37 tabl. , 12 coupes, cartes ht.

BAILLET P. (1964)

Etude pétrographique et géochimique de la partie sud-est du massif grani-
tique de Mortagne (Vendée). Sciences de la Terre, Nancy, t. IX, 1962-1963,
n°4, pp 391-420, 4 fig., 4 tabl., 3 pl. h.-t.

BARANOV V.I. , LE TIEN TU and KOROBEKOV V.I. (1962)

Uranium and thorium geochemistry in granitic rocks of the Kyzyltau massif -
Part 2 - Mode of occurrence of radioactive elements in granitic rocks -
Geochemistry n°5, p. 469 - 483.

BARBIER J. (1967)

Etude pétrographique et géochimique du granite à deux micas des Monts de
Blond (Limousin, France). Sc. de la Terre , Nancy, t. XII , n° 3 , pp. 183-
206, 12 fig. , 7 tabl.

BARBIER J. (1968)

Altération chimique et remaniement de l'uranium dans le granite à deux
micas des Monts de Blond (Limousin, France). Sc. de la Terre, Nancy, t.XIII
n° 4 p. 359 - 378, 12 fig. 2 tabl.

BARBIER J. (1971)

Conséquences géochimiques et métallogéniques de certains remaniements
météoriques dans les granites. Applications pratiques dans le cas de
l'uranium. Thèse Nancy - Ronéo - 74 p. , 20 Fig., 3 tabl.

BARBIER J., CARRAT H.G. et RANCHIN G. (1967)

Présence d'uraninite en tant que minéral accessoire usuel dans les granites
à deux micas uranifères du Limousin et de la Vendée. C.R. Acad. Sci.,
Paris, t. 264, pp. 2436-2439.

BARBIER J. , RANCHIN G. (1969 a)

Influence de l'altération météorique sur l'uranium à l'état de traces dans
le granite à deux micas de St Sylvestre. Geochim. et Cosmochim. Acta
Londres, Vol. 33 , pp. 39 - 47.

BARBIER J. , RANCHIN G. (1969 b)

Zonalité pétrographique et géochimique dans le massif granitique de
St Sylvestre (Limousin - Massif Central français). Mém. Sciences de la
Terre, Nancy, n°15, et Rapport C.E.A. R-3684. p. 57 - 113.



BARBIER J. , RANCHIN G. (1969 c)

Géochimie de l'uranium dans le massif de Saint Sylvestre (Limousin - Massif Central français). Occurences de l'uranium géochimique primaire et processus de remaniements. Mém. Sc. de la Terre, Nancy n°15, et Rapport C.E.A. R-3684. p. 115 - 157.

BARSUKOV V.I. (1956)

Du nouveau sur la géochimie de l'étain (en russe) ; 20e Congrès Géologique International, Mexico - 1958.

Symp de Explor. - Geoquim, t. I, p. 29 - 40 , Abstract.

BARROIS Ch. (1930 a)

Les grandes lignes de la Bretagne

Livre jubilaire de la Soc. Géol. de France, Paris, t.I , p.83 - 100

BARROIS Ch. (1930 b)

Le sillon de Bretagne

Ann. de la Soc. Géol. du Nord, Lille - t. 55, p. 147 - 156, 1 fig.

BERNARD A., JURAIN G. , LA ROCHE (de) H. (1959)

Rappel de Notions Fondamentales et Généralités sur la prospection géochimique.

Colloque sur la prospection géochimique Royaumont - 1959 - 17 p. , 2 fig.

BERTHOLLET P. (1958)

Méthodes d'analyses utilisées par la section de Géochimie.

Note C.E.A. n° 250 - DREM - 21 p.

BEUS A.A. (1965)

Study of geochemical specialization of geological complexes for regional prediction. State Geol. Committee of the U.R.S.S., Moscou, 88 p, (texte en anglais).

BRILLANCEAU A. (1968 a)

La stratigraphie du Briovérien de la région côtière de Vendée C.R. Acad. Sci. Paris , t.267 , série D , p. 1923 - 1926 , 2 fig.

BRILLANCEAU A. (1968 b)

Le Briovérien de la région côtière de Vendée : ses caractères structuraux fondamentaux.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 267, série D, p. 2105 - 2107.

BRILLANCEAU A. et MATHIEU G. (1965)

Extension notable du Silurien dans le Bas-Bocage de Vendée, C.R. Acad. Sci. Paris , t. 261, n°8, p. 1879 - 1881.

CACARIE (1842)

Description géologique sur le département des Deux-Sèvres.

Mém. Soc. Statistique des Deux-Sèvres - Niort, 1ère série, t. VIII, p. 197.

CARRAT H.G. (1966)

Contribution à l'étude pétrographique et chimique du massif de Luzy (Morvan méridional). Sciences de la Terre, Nancy, t.XI , n°4, p. 415-473, 17 fig., 10 tabl.

CARRAT H.G. (1969)

Le Morvan cristallin. Etude pétrographique, géochimique et structurale. Position de l'uranium. Thèse Nancy , 3 vol., 381 p. ronéo + annexes, 88 fig. 19 tabl.

CAVOLEAU J.A. (1803)

Annuaire statistique du Département de la Vendée pour l'an XII par le citoyen Cavolet, Secrétaire Général de la Préfecture -Fontenay-le-Peuple, Goichot, Imprimeur de la Préfecture.

CHAROY B. (1970)

Le massif de Questembert (Morbihan) : Variations pétrographiques et géochimiques dans les granites à deux micas. Etude de la radioactivité. Thèse Nancy, 1 Vol., Ronéo , 315 p. , 62 fig., 11 pl. h.t.

CHAURIS L. (1967)

Gravimétrie et métallogénie granitique dans le Massif armoricain.
In Mém. B.R.G.M. n°52 : Contribution de la carte gravimétrique à la Géologie du Massif armoricain - p. 43 - 54 , 3 fig. (cart.)

CHAURIS L. , GUIGUES J. (1969)

Gîtes minéraux de la France : Massif armoricain. Mém. B.R.G.M., n°74, Vol.I, 96 p. , 15 fig., 8 cartes h.t.

CHAYES F. (1955)

Potash Feldspar as a by-product of the biotite-chlorite transformation.
Journ. of Geol., Chicago, Vol. 63, p. 75-82.

COGNE J. (1957)

Schistes cristallins et granites en Bretagne méridionale : le Domaine de l'Anticlinal de Cornouaille. Thèse Strasbourg, Mémoire pour servir à l'explication de la carte géologique de la France. Imprimerie nationale Paris 1960, 1 vol. , 367 p.

COGNE J. (1963)

Le Briovérien : esquisse des caractères stratigraphiques, métamorphiques, structuraux et paléo-géographiques de l'antécambrien récent dans le Massif armoricain. Bull. Soc. géol. de France , t. 4, n°3, p. 413 - 430.

COGNE J. (1967)

Zones stables et zones mobiles au cours de l'orogénèse hercynienne dans le Massif armoricain. Relations avec le champ de la pesanteur. in Mém. B.R.G.M. n° 52 : contribution de la carte gravimétrique à la géologie du Massif armoricain, p. 15-23.

COPPENS R. (1949)

Etude de la radioactivité de quelques roches par l'émulsion photographique.
Bull. Soc. Fr. de Min. et crist. Paris 1950, t. 73, p. 217 - 321.

COPPENS R. (1966)

Relations entre les teneurs en uranium, les caractères pétrographiques,
et les teneurs en éléments majeurs de quelques roches granitoïdes. Cas
particulier du massif de Mortagne (Vendée).
91^e Congrès des Soc. Sav. Rennes, Bibl. Nat. Paris 1967, t. II, p. 245-268,
22 fig., 5 tabl.

COPPENS R. , JURAIN G. (1957)

Répartition de la radioactivité dans un granite voisin du gisement uranifère.
Bull. Soc. Fr. Min. Crist. Paris, t. 80, p. 95 - 96.

COPPENS R. , JURAIN G. (1965)

Considérations générales sur la distribution de l'uranium dans les roches
granitoïdes.
Sonderdruck aus Geologischen Rundschau Bd 55, s. 427 - 436 , 9 fig.
Stuttgart.

COTTINEAU H.R. (1951 - 1953)

Mission préliminaire Vendée - Bretagne.
Rapport inédit - DREM - C.E.A. 17 p. , 7 cartes h.t.

COULOMB R. (1959)

Contribution à la géochimie de l'uranium dans les granites intrusifs.
Thèse, Paris. 85 p.
CENPAR et Rapport C.E.A. n° 1173 -

DEER W.A. , HOWIE R.A. , ZUSSMAN J. (1962)

Rock Forming Minerals , Vol. 3, Sheet Silicates. Longmans - Londres.
270 p. 58 fig. , 44 tabl.

DEFLANDRE G. et TERS M. (1970)

Présence de microplancton silurien fixant l'âge des ampélites associées aux phthanites de Brétignolles (Vendée).

C.R. Acad. Sci., Paris, t. 270, p. 2162 - 2166.

DEMAY A. (1952)

Sur les relations stratigraphiques, structurales et magnétiques entre le Massif Central français et l'Armorique méridionale.

London, Rep. 18 th, Session intern. Geol. Congress 1948, Part 13, p. 52 - 62.

DHOSTE M. (1961)

Etude pétrographique des roches éruptives de la région Parthenay-Bressuire-Moncoutant.

D.E.S. Géologie Labo. Géol. Fac. Sci Poitiers. 2 fasc.

DHOSTE M. (1962)

Note préliminaire sur les "granulites" des Deux-Sèvres. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 254, p. 4490 - 4492.

DHOSTE M. (1968)

Sur la présence de migmatites au Nord du granite des Aubiers (Deux-Sèvres). C.R. Acad. Sci., Paris, t. 266, Série D, p. 1556 - 1558.

EVEN G. (1966)

Etude de quelques méthodes d'identification de certains minéraux radioactifs des roches granitiques.

Thèse, Nancy, 1 vol., 87 p. ronéo + annexe, 7 tabl., 15 pl.

FABRIES J. et ROCCI G. (1965)

Le massif granitique du Tarraouadjii (Rép. du Niger); Etude et signification pétrogénétique des principaux minéraux. Bull. Soc. Franc. Minéral Crist., Paris, t. 58, p. 319 - 340.

FOSTER M.D. (1960)

Interpretation of the Composition of trioctahedral micas. Geological Survey Professional Paper 354 - B , p. 11 - 48, Washington.

GEOFFROY J. et SARCIA J.A. (1958)

La notion de "gîte épithermal uranifère" et les problèmes qu'elle pose.
Bull. Soc. Géol. de France, 6e série , t. VIII , n°5 , p. 173 - 190.

GEOFFROY (de) (1951)

Etude géologique du batholite de Luzy. Rapport inédit. Division de Grury-
76 p. , 16 fig. , 4 coupes.

GERMAIN C. , KERVILLA M. , LE BAIL Fr. (1964)

Gisements et indices uranifères de la Bretagne. In "Les minerais uranifères français" ,
Presses Univ. France, Paris, Vol 1 , t. III, Ch. 3, p. 208 - 275 , 30 fig.

GERSTNER A., BARAS L., PINAUD C. et TAYEB G. (1962)

Monographie des gisements vendéens. In "Les minerais uranifères français",
Presses Univ. France, Paris , t. II , p. 293 - 399

GONI J. (1966)

Contribution à l'étude de la localisation et de la distribution des éléments en traces dans les minéraux et les roches granitiques. Mém. B.R.G.M.
Paris, n° 45, 68 p. 26 tabl. 3 fig. , 18 pl. h.t.

GRAINDOR M.J. (1967)

Les dislocations majeurs du socle armoricain. In Mém. B.R.G.M. n°52 :
Contribution de la carte gravimétrique à la géologie du massif armoricain.
p. 25 - 42.

HAMILTON E.H. (1958)

Distribution of radioactivity in rocks and minerals and the effect of weathering on determination of uranium. Nature G.B. , Vol.181 , p. 697-698.

HARRISS R.C. ADAMS J.A.S. (1966)

Geochemical and Mineralogical studies on the weathering of granitic rocks.
Am. Journal of Sci. , Vol. 264, p. 146 - 173.

HEY M.H.(1954)

A new review of the chlorites.
Mineralog. Mag. , V. 30 , p. 277 - 292.

HUSSEIN H.A.M. (1959)

Etude pétrographique et radiogéologique de la région située au Nord de
Nantes (Loire Atlantique). Thèse Nancy. Sciences de la Terre, Nancy , 1961
t. VII , n° 1-2 , p. 5 - 117.

ISNARD P. et LA ROCHE (de) H. (1966)

Evaluation statistique du bilan chimique de l'altération naissante dans
le granite du Sidobre (Tarn). C.R. Acad. Sci. , Paris , série D, t.262,
p. 2573 - 2576 , 2 fig.

ISNARD P. , LA ROCHE (de) H. (1968)

De la composition chimique à la composition minéralogique des granites
à deux micas. Traitement par le calcul automatique dans les études en
grande série. Application au massif de la Marche Orientale.
Sci. de la Terre, Nancy, t. XIII, n° 1 , p. 79 - 97 , 3 fig. , 5 tabl.

JURAIN G. (1962)

Contribution à la connaissance géochimique des familles de l'uranium-radium
et du thorium dans les Vosges méridionales. Application de certains
résultats en prospection de gisements d'uranium. Thèse Nancy et Mém.
Sciences de la Terre, Nancy, n° 1, 352 p. , 88 fig. , 85 tabl. , 21 pl.
+ carte h.t. - Rapport C.E.A. n° 2154

JURAIN G. , RENARD J.P. (1970 a)

Remarques générales sur les caractères géochimiques des granites encais-
sant les principaux districts uranifères français. Sci. de la Terre ,
Nancy , t. XV , n°2 , p. 195 - 205 , 4 fig. , 1 tabl.

JURAIN G. , RENARD J.P. (1970 b)

Géochimie de l'uranium dans les minéraux phylliteux et les roches du massif granitique de Mortagne-sur-Sèvre, (Vendée) France. Mineral. Deposita (Berl.) 5, p.354-364 , 10 fig.

JURAIN G. , RENARD J.P. (1970 c)

Indice de muscovitisation : Evaluation du degré d'évolution d'un massif granitique et de sa potentialité en gisements uranifères. Bulletin mensuel des Divisions Minières du C.E.A. , Juillet-Août 1970 , 7 p. , 4 fig.

JURAIN G. , RENARD J.P. (1971)

Rapport sur l'état d'avancement des travaux sur les massifs de Vigneux - Orvault et de Guérande. Rapport inédit Centre Recherches Radiogéologiques, Nancy , 9 p. , 10 fig. , 2 tabl. , et annexes C.E.A. - Recherches Vendée.

KOMAROV A.N. , SHUKOLYUDOV A. (1966)

Forms of uranium occurrence in micas - Geochemistry 1966, n°6, p. 1065, Vol. 3 , Trad. de Geokhimiya n°11 , p. 1322 - 1330.

KOSZTOLANYI Ch. , COPPENS R. (1970)

Etude géochronologique de la minéralisation uranifère de la mine du Chardon (Vendée , France). Eclogae Geologicae Helvetiae ,Bâle, Vol. 63, n°1, p. 185 - 196 , 7 fig. , 2 tabl.

LACROIX A. (1899)

Le Gabbro du Pallet et ses modifications. Bull. Serv. Carte Géol. France, Paris , t.X , n° 67 , p. 341 - 396, 14 fig. , 1 Pl.

LANEYRE J. (1966)

Leucogranites et muscovitisation dans le massif Central français , Thèse. Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont-Ferrand, n° 29, 264 p. , 12 pl.

La ROCHE (de) H. (1964)

Sur l'expression graphique des relations entre la composition chimique et la composition minéralogique quantitative des roches cristallines. Présentation d'un diagramme destiné à l'étude chimico-minéralogique des massifs granitiques ou grano-dioritiques. Application aux Vosges cristallines. Sc. de la Terre, Nancy, t. IX , n°3 , p. 293 - 337.

La ROCHE (de) H. (1966)

Sur l'usage du concept d'association minérale dans l'étude chimique des roches : modèles chimiques statistiques, représentations graphiques, classification chimico-minéralogique. C.R. Acad. Sci , Paris , t. 262, p. 1665-1668.

La ROCHE (de) H. , LELONG F. et FRANCOIS J. - (1966)

Données géochimiques sur les premiers stades de l'altération dans le massif granitique de Saint-Renan (Finistère) . C.R. Acad. Sci. Paris, t. 262, p. 2409 - 2412.

LASNIER B. , MARCHAND J. (1969)

Le contact du batholite de granites de Clisson - Mortagne et du massif de Gabbro du Pallet au niveau de la mine du Chardon (Loire Atlantique). Existence d'une série métamorphique différenciée. Etude pétrographique et structurale. Rapport inédit . Labo. de Géologie. Fac. des Sc. de Nantes , 1 Vol. , 27 p. , 1 pl. , photo.

LAUCAGNE P. , SANSELME H. (1956)

Découverte de wolfram et de minéralisations associées dans le Haut Bocage vendéen. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 242, p. 1636 - 1639.

LEBLANC P. (1971)

La lame tectonique bordant le flanc N.E. du granite de Clisson - Mortagne. Les Gabbros et leur contexte cristallin dans le secteur de St Christophe-du-Bois - Mauléon . D.E.S. Nantes. 80 p.

LERØY J. (1971)

Les épiisyénites non minéralisées dans le massif de granite à deux micas de Saint-Sylvestre (Limousin - France) . Equilibres entre minéraux et solutions. Thèse ronéo Nancy, Vol. 1 , 87 p. , 23 fig., 13 tabl., annexes.

LERØY J. et POTY B. (1969)

Recherches préliminaires sur les fluides associés à la genèse des minéralisations en uranium du Limousin (France). Mineralium Deposita, Berlin Vol.4, n°4, p. 395 - 400.

LEUTWEIN F. (1965)

Les caractéristiques géochimiques de l'évolution des gisements d'étain et de wolfram de l'Erzgebirge (Allemagne).

Sci. de la Terre, Nancy, 1964 - 1965 , t. X , n° 1, p. 35 - 78, 9 fig. 10 tabl.

MAC NAMARA M.J. (1966)

Chlorite - biotite equilibrium reactions in a carbonate - free system. J. Petrol. , G.B., 7, p. 404 - 413.

MANO M. (1963)

Les minéraux lourds accessoires des granites alcalins centraux du Tarragouadjii (Aïr-Niger); intérêt pétrogénétique des zircons. C.R. Acad.

Sci. Paris , Série D, t. 256, p. 4475-4477.

MARQUAIRE Ch. , MOREAU M. (1969)

Esquisse géologique du Nord-Limousin et répartition des minéralisations uranifères. In "La Géologie de l'uranium dans le massif granitique de Saint-Sylvestre (Limousin - Massif Central français)". Rapport C.E.A. - R - 3684, p.7 - 40 , 4 fig.

MATHIEU G. (1937)

Recherches géologiques sur les terrains paléozoïques de la région vendéenne. Thèse Lille. Impr. Sautai, 2 fasc. , - 321p. , 68 fig.

MATHIEU G. (1958)

Les grandes lignes de la Vendée. Bull. Serv. Carte Géol. Fr., t.55, n° 253, 1957, 302 p. , 5 fig. , 2 Pl. , 1 carte h.t.

MICHAUD C. (1964)

Le contact Nord du batholite de Mortagne entre la Romagne et Montfaucon.
D.E.S. Poitiers, 60 p. , 1 carte h.t.

MOREAU M. (1970)

Quelques considérations sur la place de l'uranium par rapport aux granites.
Note C.E.A. inédite - Bulletin mensuel d'information du C.E.A. - Mars 1970.
11 p.

MOREAU M. , PUGHON A., PUTBARAUD Y., et SANSELME H. (1966)

L'uranium et les granites. Chronique des Mines et de la Recherche Minière,
Paris, n° 350, p. 47 - 51.

MORICE E. et CHARTIER F. (1954)

Méthode statistique. Imprimerie Nationale , Paris, t.II, 555 p.

MORONEY M.J. (1970)

Comprendre la statistique. Vérités et mensonges des chiffres. Marabout
Université 203, 445 p.

MULLER G. (1966)

Transformation rétrograde par autométamorphisme de biotite en chlorite et muscovite dans les roches acides de profondeur.

Beitr. Mineral. Petro. Inst., Dtsch, Bd 13, n°4 , p.295 - 365 , 8 fig.,
29 tabl.

Trad. B.R.G.M. M. del Medico n° 5077.

NEUERBURG G.J. (1955)

L'uranium dans les roches ignées des Etats-Unis d'Amérique. L'utilisation
de l'Energie atomique à des fins pacifiques, Actes Conf. Intern. Genève, 1955
P/16, t.VI , p. 264 - 274.

NORMAND M. (1969)

Le Briovérien granitisé et les formations cambrosiluriennes de la région de la Romagne et de St Clémentin. Rapport inédit C.E.A. Division Vendée. Sept. 1969 , 30 p. , 2 fig.

PHAN K.D. (1965)

Distribution des traces de Sn, de Li, et de Be dans quelques massifs granitiques du Morbihan. Différences entre granites stannifères et granites stérils. Bull. B.R.G.M. , Fr., n°5 , p. 1-48 , 13 cartes.

PICCIOTTO E. (1950)

Distribution de la radioactivité dans les roches éruptives. Granite du Lac Blanc (Vosges) . Bull. du Centre Physique nucléaire de l'Université libre de Bruxelles.

PINAUD C. (1962)

Historique géologique de la Vendée. Granulitisation et minéralisations uranifères. In Les Minerais uranifères français et leurs gisements (publié sous la direction de M. ROUBAULT), Presses Univ. France, Paris, t. II, ch. IV , p. 301-315, p. 325 - 327.

POTY B. (1969)

La croissance des cristaux de quartz dans les filons de la Gardette (Bourg d'Oisans) et des filons du massif du Mont-Blanc . Thèse , Nancy. Mém. Sci. de la Terre, n°17, 162 p., 39 fig., 28 tabl. et 10 pl. h.t.

RANCHIN G. (1970)

La Géochimie de l'uranium et la différenciation granitique dans la province uranifère du Nord Limousin. Thèse d'Etat. Nancy Ronéo , 2 Vol. 483 p. 39 fig. , 60 tabl. , 14 pl. . , 1 carte h.t. Mém. C.E.A. Rapport D.P. - R - 4034 (1971) 394 p.

RENARD J.P. (1969)

Etude pétrographique et géochimique du Massif granitique uranifère de Mortagne-sur-Sèvre (Vendée , France). Sci. de la Terre, Nancy t. XIV, n° 1, p. 63 - 102, 10 fig. , 9 tabl. , 2 Pl. , h.t.

RENARD J.P. (1970)

Géochimie de l'uranium de surface dans les massifs granitiques vendéens. Cas particulier du massif de Mortagne-sur-Sèvre. Sci de la Terre, Nancy, t. XV, n°2, p. 167 - 194, 10 fig. 8 tabl. , 3 Pl., h.t.

RICHARD P. (1969)

Etude de l'équilibre radioactif dans quelques minéraux et minerais uranifères par spectrométrie Alpha. Thèse d'Université, Nancy, 1 Vol., 134 p. ronéo.

RIVIERE A. (1851)

Mémoire sur le terrain gneissique ou primitif de la Vendée. Mém. Soc. Géol. France, 2e Série, t. IV , n° 2.

ROGERS J.J.W. , ADAMS J.A.S. (1969)

Uranium in : Handbook of geochemistry. Springer Verlag, Berlin, Vol. II/1, p. 92.B - 92.O.

ROUBAULT M. (avec la collaboration de G. JURAIN) (1958)

Géologie de l'uranium. Masson , Paris, 462 p. , 205 fig., et cartes, 2 pl., h.t. , 9 tabl.

ROUBAULT M. (1964)

Analyse des roches au quantomètre (Spectrographe à réseau à enregistrement direct). Application à l'étude géochimique de plusieurs massifs granitiques français. Publ. Service Géol. du Luxembourg, Vol. 14, p. 333, - 358, 15 fig. 4 tabl.

ROUBAULT M. et COPPENS R. (1955)

Sur les relations entre certains gîtes filoniens d'uranium et la présence d'inclusions radioactives dans les roches encaissantes. C.R. Acad. Sci., Paris , t. 240, p. 214 - 216.

ROUBAULT M. , COPPENS R. (1958)

Observation des déplacements de l'uranium dans les roches cristallines : relation possible de ces phénomènes avec la genèse de certains gisements. Actes de la 2e Conf. Int. des Nations Unies sur l'utilisation de l'Energie Atomique à des fins pacifiques , Vol. 2, p. 128 - 131 - Genève.

ROUBAULT M. , COPPENS R. (1959)

Influence de l'altération sur la répartition des éléments radioactifs dans les roches. 84e Congr. du Soc. Sav. Dijon 1959, p. 287-295.

ROUBAULT M. , COPPENS R. (1960)

Etude radiogéologique d'une partie du massif granitique de Mortagne (Vendée) Intern. geol. Congr. , XXI Session, Norden, 1960, Part XV, Copenhagen , p. 73 - 97, 17 fig.

ROUBAULT M. , COPPENS R. (1961)

Etude de la radioactivité des roches d'un sondage profond du massif granitique de Mortagne (Vendée). 86e Congr. des Soc. Sav. Montpellier , 1961 , p. 429 - 432.

ROUBAULT M., La ROCHE (de) H. , GOVINDARAJU K. (1964)

L'analyse des roches silicatées par spectrométrie photo-électrique au quantomètre A.R.L. et son contrôle par des roches étalons. Sci. de la Terre, Nancy, t. IX , n° 4 , p. 339 - 371, 6 fig. 8 tabl.

ROUBAULT M. , La ROCHE (de) H. , GOVINDARAJU K. (1968)

Rapport (1966-1968) sur les standards géochimiques : granites GR , GA, GH, Basalte BR ; Biotite ferriphère Mica-Fe ; Phlogopite Mica-Mg. Sci. de la Terre , Nancy, t. XIII, n° 4, p. 379-404, 4 fig. 12 tabl.

SANSÉLME H. , ZEGERS J.C. (1957)

Découverte et mise en valeur du gisement d'uranium de l'Ecarpière (L.A.)
Annales des Mines, 10 , p. 623 -648 (Oct. 1957). Rapport C.E.A. n° 741.

SANSÉLME H. , GERSTNER A. (1958)

Les gisements d'uranium de la Chapelle Largetau et de la Commanderie (Deux-Sèvres) . Annales des Mines , 6 (1958) , p. 352 - 380. 25 fig. Rapport C.E.A. n° 939.

SANTALLIER D. (1964)

Etude des roches granitiques et des laves paléozoïques du Choletais. Thèse
3e Cycle , Paris, 1 Vol. , 117 p. , 4 pl. , 1 carte h.t.

SARCIA J. (1955)

Etude du massif granitique de la Haute-Vienne. Rapport C.E.A. Division de
la Crouzille. Inédit , 49 p., 12 fig. , 7 pl.

SARCIA J.A. et J. (1962)

Les minerais uranifères français. Presses Univ. de France, Paris. Vol.1,
t. II, p. 188 - 291.

SENECAL J. (1969)

Monographie du gisement du Brugeaud . In La Géologie de l'uranium dans le
massif granitique de Saint-Sylvestre (Limousin - Massif Central français).
Rapport C.E.A. - R - 3684. , p. 159 - 193.

SONET J. (1967)

Contribution à l'étude géochronologique du massif de Mortagne (Vendée).
C.R. Acad. Sci. , Paris, Série D, t. 264, p. 225 - 228.

SONET J. (1968)

Essai d'interprétation d'un ensemble de mesures géochronologiques au
Rb/Sr des massifs granitiques vendéens. Mise en évidence d'une dualité
génétique. C.R. Acad. Sci. Paris, série D, t. 267, p. 15 - 17.

TAUSON L.V. (1965)

Factors in the distribution of the trace elements during the crystallisation of magmas. Physics and chemistry of the Earth ; Pergamon Press, Vol. VI, p. 215 - 249.

TAYEB G. (1962)

Gisements de l'Ecarpière - Le Chardon. In Les minerais uranifères français et leurs gisements publié sous la direction de M. ROUBAULT . Presses Univ. de France, t. II , Ch. IV , p. 368 - 390 , 14 fig. .

TAYLOR S.R. (1965)

The Application of trace elements data to problems in Petrology. p. 133. Physics and Chemistry of the Earth Pergamon Press, t. VI, Ch. II, p. 133-213.

TERS M. (1961)

La Vendée littorale, Thèse d'Etat, Rennes, 1 Vol. , 578 p., 50 fig. , 68 photos , 12 pl. .

TERS M. (1970) : Voir DEFLANDRE G.

WINCHELL A.N. (1964)

Elements of optical Mineralogy. Part. 2, Description of minerals, 4th ed : New-York, John Wiley and Sons , 551 p.

WINKLER H.G.F. (1968)

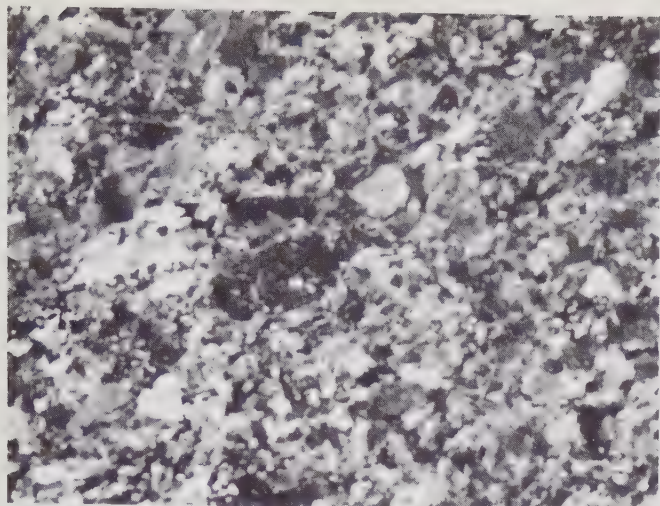
Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Springer Verlag - Berlin . 2e éd. Vol.1, 237 p.

WONES D.R. , EUGSTER H.P. (1965)

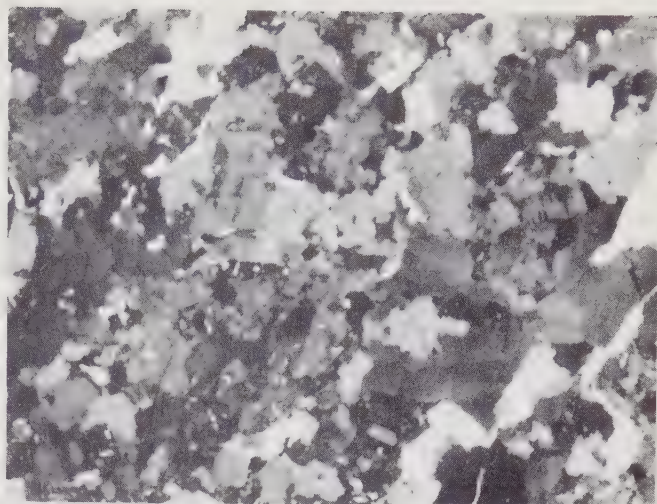
Stability of biotite : experiment, theory, and application. Am. Mineral. Vol. 50, p. 1228 - 1272 , 15 fig. , 4 tabl.

PLANCHE 1

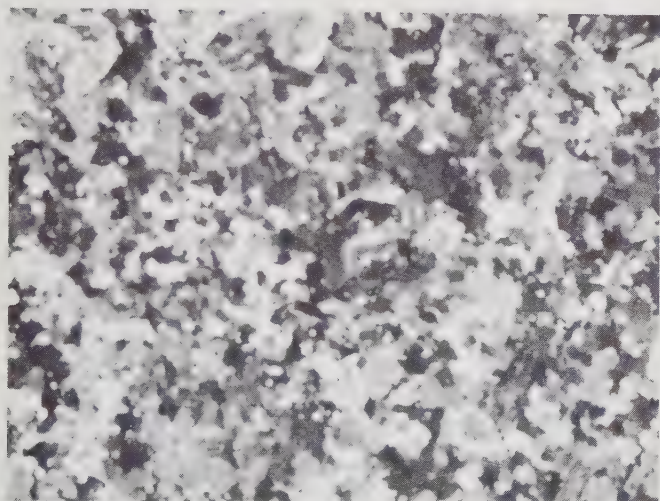
- Fig. 1 - Granite porphyroïde syncinématique du massif de Mortagne.
Cugan (Vendée) ($X = 325,10$; $Y = 235,60$ Lambert Centre)
L.P. x 8
- Fig. 2 - Granite à deux micas du massif de Bressuire.
Terves (Deux-Sèvres) ($X = 384,10$; $Y = 206,65$ Lambert Centre)
L.P. x 8
- Fig. 3 - Granite intermédiaire de Moulins.
St Clémentin (Deux-Sèvres) ($X = 382,40$; $Y = 219,90$ Lambert Centre).
L.P. x 8
- Fig. 4 - Granite de Moulins à grain moyen.
Voultegon (Deux-Sèvres) ($X = 384,45$; $Y = 216,10$ Lambert Centre).
L.P. x 8
- Fig. 5 - Anatexite à sillimanite cordiérite de type Aubusson.
Les Aubiers (Deux-Sèvres) ($X = 378,54$; $Y = 222,90$ Lambert Centre).
L.P. x 8
- Fig. 6 - Granite à biotite, à grain moyen type granodioritique
St Aubin du Plain (Deux-Sèvres) ($X = 387,35$; $Y = 217,75$ Lambert Centre).
L.P. x 8



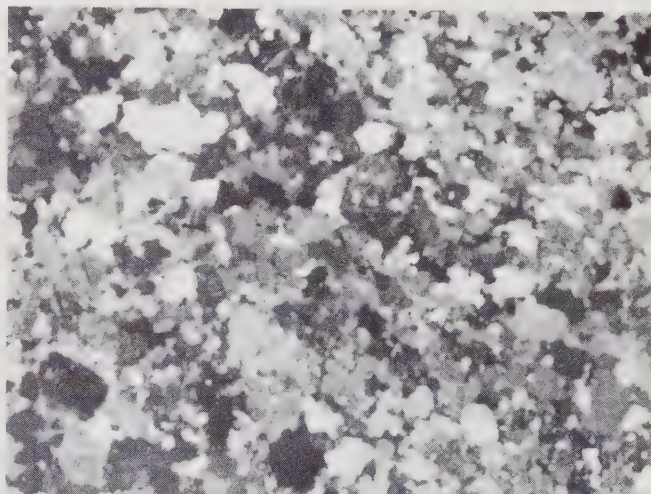
1



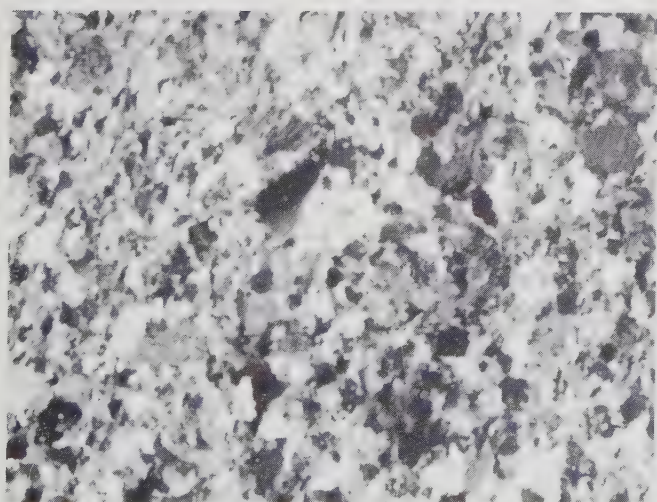
2



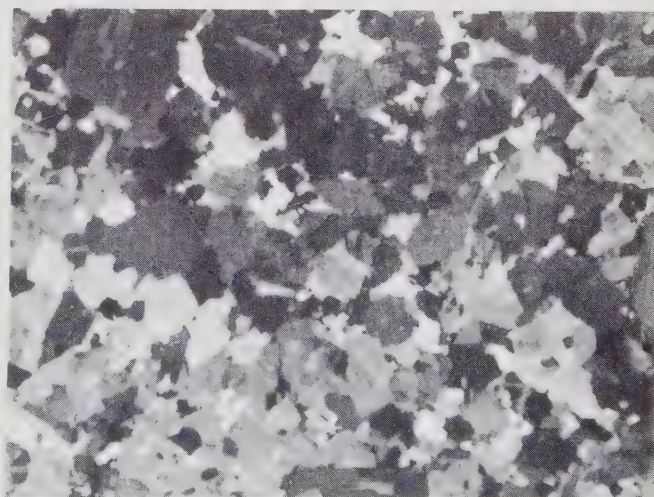
3



4



5



6



PLANCHE 2

Fig. 1 - Sillimanite aciculaire associée au microcline et à la biotite. Granite à grain fin et deux micas.

Clisson (X = 323,35 ; Y = 233,85 Lambert Centre).

L.P. x 25

Fig. 2 - Association épitaxique biotite-muscovite. Granite à gros grain à muscovite dominante.

Le Longeron (X = 341,03 ; Y = 229,47 Lambert Centre).

L.P. x 25

Fig. 3 - Association épitaxique microcline perthitique - albite en lattes - quartz globuleux en blanc - granite "albitisé" à muscovite dominante.

Le Longeron (X = 340,95 ; Y = 229,17 Lambert Centre).

L.P. x 25

Fig. 4 - Muscovitisation d'un microcline perthitique. Granite à grain moyen et à muscovite et quartz xénomorphes.

Le Longeron (X = 340,95 ; Y = 229,17 Lambert Centre).

L.P. x 25

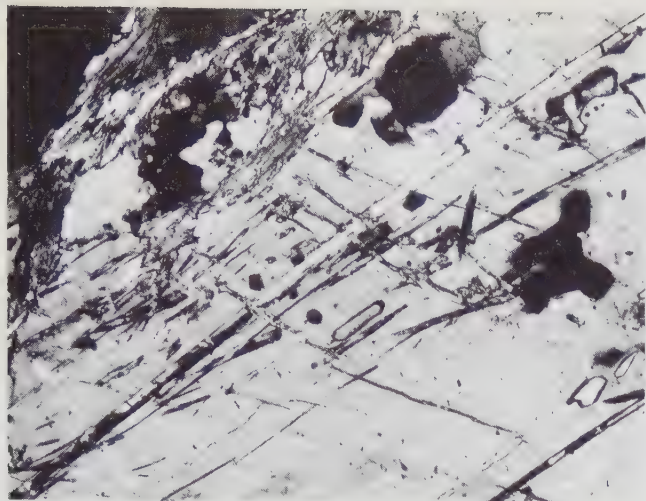
Fig. 5 - Cristal d'uraninite (30 microns) avec une auréole claire calcédonieuse, un halo opaque ferrugineux inclus dans une albite. Granite de la Commanderie - Sondage du Grand-Bois.

Le Temple (X = 359,85 ; Y = 218,05 Lambert Centre).

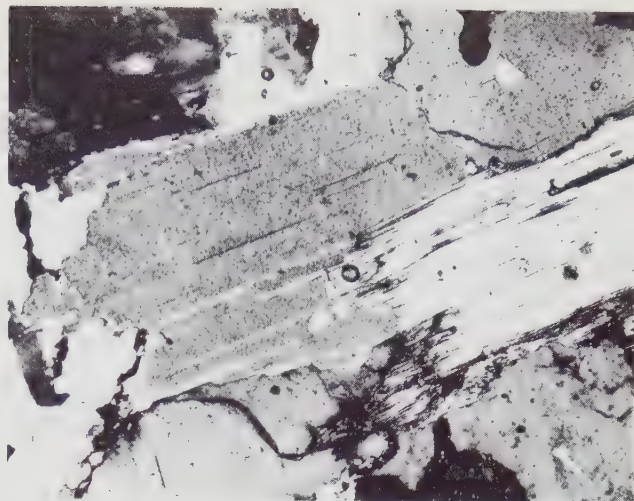
L.P. x 60.

Fig. 6 - Cristal d'uraninite (150 microns) cataclasé et inclus dans les phyllites du granite de l'Ecarpière (niveau -205)

L.P. x 60



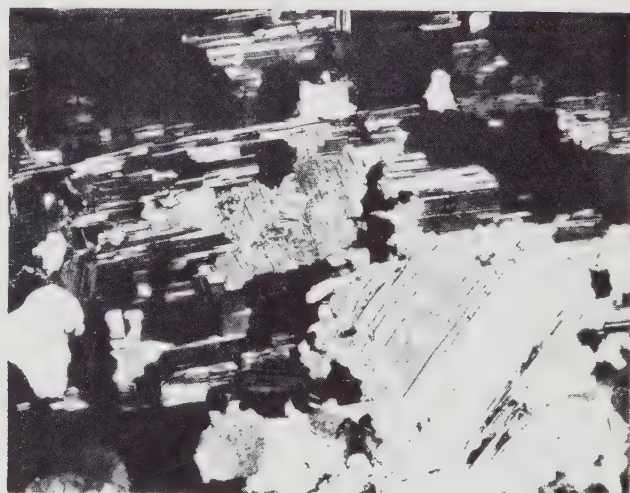
1



2



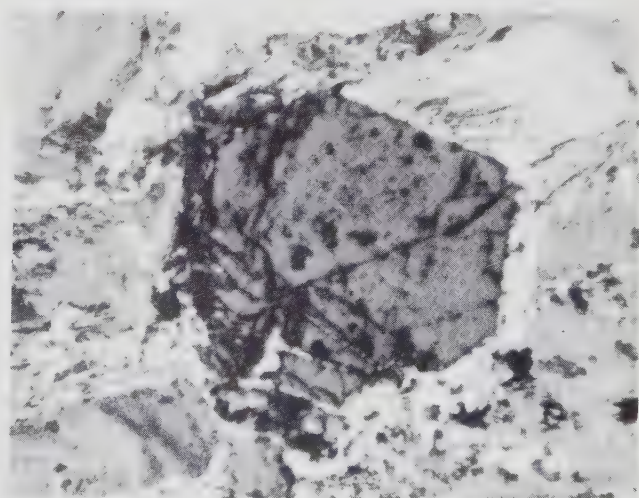
3



4



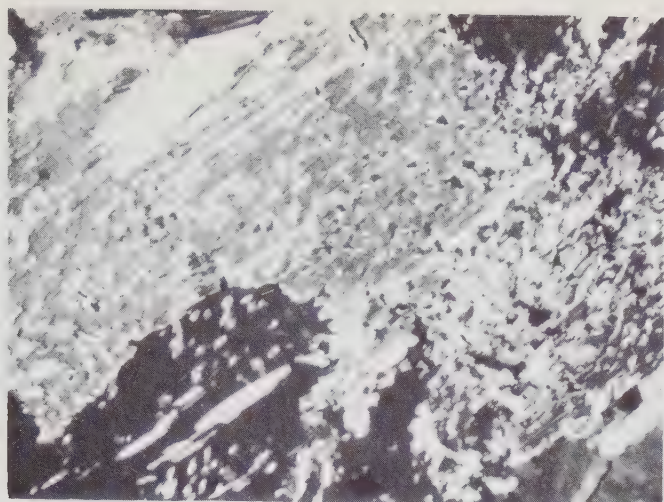
5



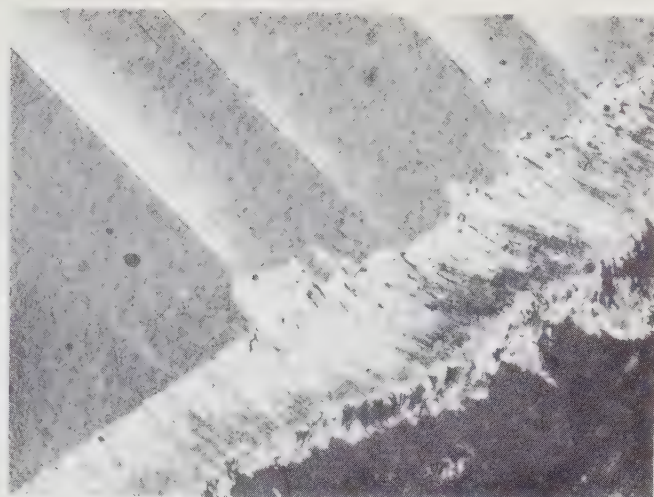
6

PLANCHE 3

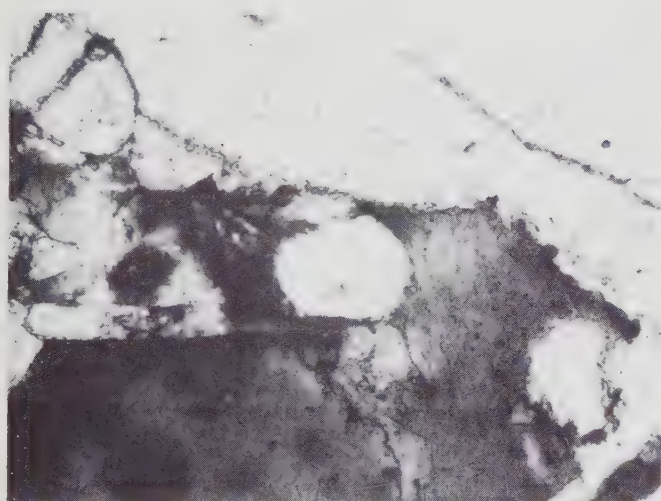
- Fig. 1 - Associations biotite-sillimanite et muscovite-sillimanite résiduelle.
Granite migmatitique à biotite dominante.
La Boissière de Montaigu (X = 331,70 ; Y = 222,37 Lambert Centre).
L.P. x 25
- Fig. 2 - Muscovite en association symplectique avec le quartz résultant de la muscovitisation du feldspath potassique. Granite "muscovitisé" de la Commanderie. Sondage du Grand-Bois
L.P. x 60
- Fig. 3 - Biotite légèrement chloritisée avec néoformation d'une plage de fluorine violette - Apatite et zircons. Granite porphyroïde du Cottereau.
Sondage du Cottereau - Les Epesses.
L.P. x 25
- Fig. 4 - Biotite chloritisée avec néoformation de feldspath potassique en fuseaux (en blanc dans la chlorite). Granite "albitisé" et laminé.
St Laurent-sur-Sèvre (X = 354,32 ; Y = 224,40 Lambert Centre).
L.P. x 60
- Fig. 5 - Ancienne biotite chloritisée et englobée dans la muscovite "deutérique". Granite "albitisé" à gros grain.
Le Longeron (X = 343,20 ; Y = 228,75 Lambert Centre).
L.P. x 25
- Fig. 6 - Envahissement de la biotite par la chlorite et la muscovite dans la zone laminée de la
Chapelle Largeau (X = 354,30 ; Y = 222,00 Lambert Centre).
L.P. x 60



1



2



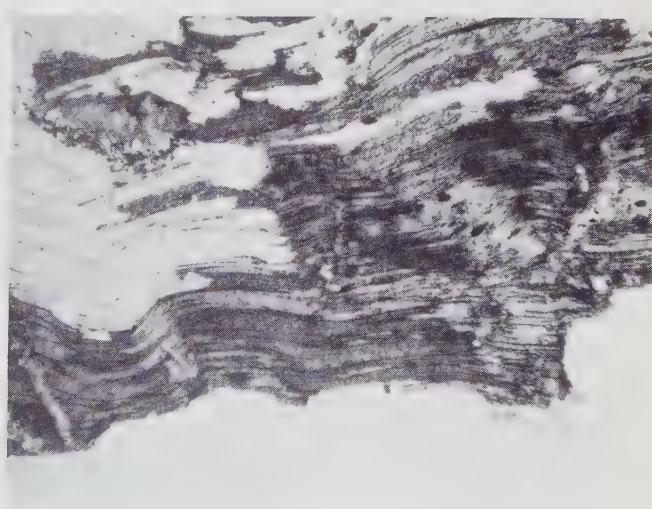
3



4



5



6

PLANCHE 4

Fig. 1 - Uraninite et son auréole sériciteuse (claire) incluse dans une biotite ~~xéno~~morphe. Granite muscovitisé de la Commanderie Sondage du Grand-Bois - 45 m.

L.P. x 60

Fig. 2 - Uraninites détruites au cours de la "muscovitisation des biotites".
Sondage du Grand-Bois : - 190 m.

L.P. x 60

Fig. 3 - Envahissement de la biotite par la muscovite avec libération des inclusions radioactives de la biotite.

St Hilaire de Mortagne (X = 351,40 ; Y = 228,82 Lambert Centre).

L.P. x 25

Fig. 4 - Biotite résiduelle, envahie par la muscovite. Néoformation d'hématite cristallisée.

Sondage du Grand-Bois : - 60 m

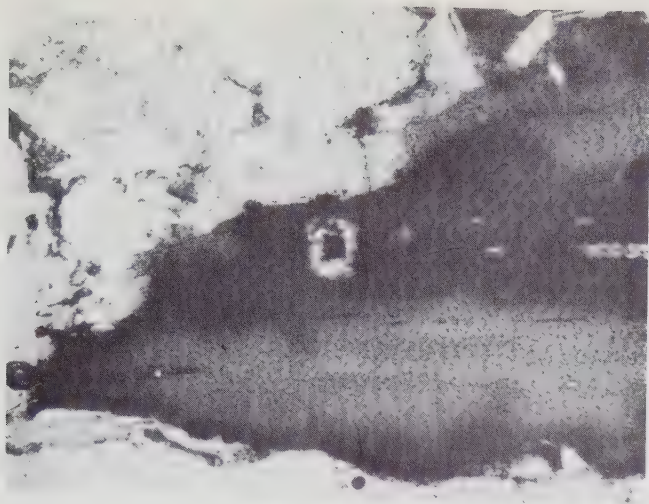
L.P. x 25

Fig. 5 - Remplacement de la biotite par la muscovite avec hématisation en fuseaux.
Sondage du Grand-Bois : - 60 m

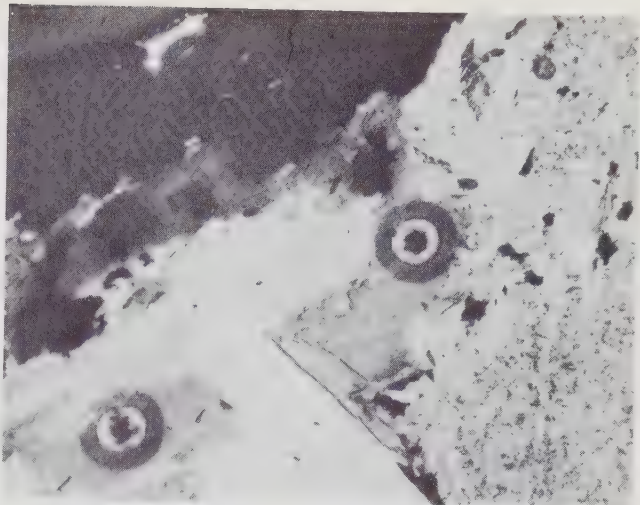
L.P. x 25

Fig. 6 - Ancienne biotite "muscovitisée" et "hématisée". Apatites globuleuses.
Sondage du Grand-Bois : - 15 m.

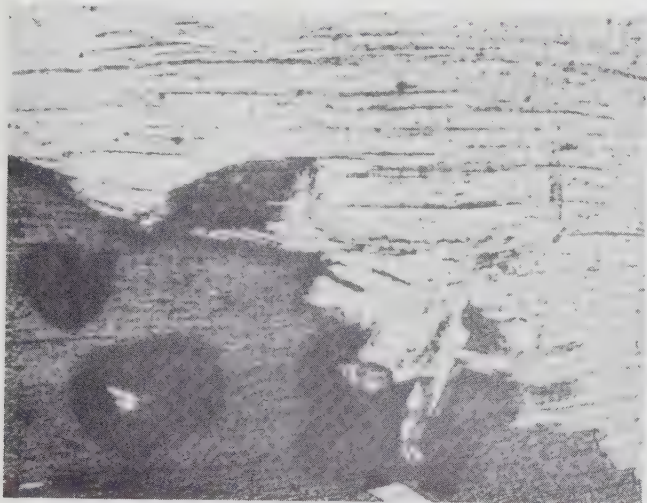
L.P. x 60



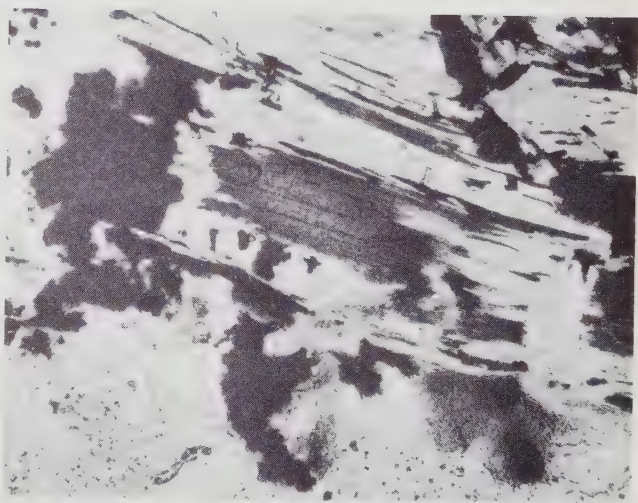
1



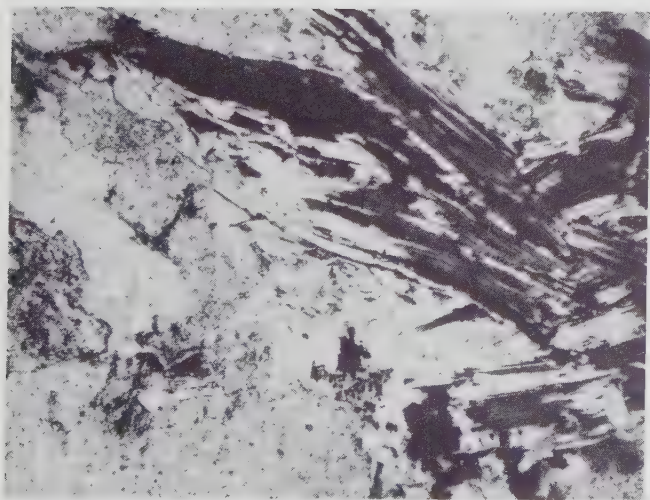
2



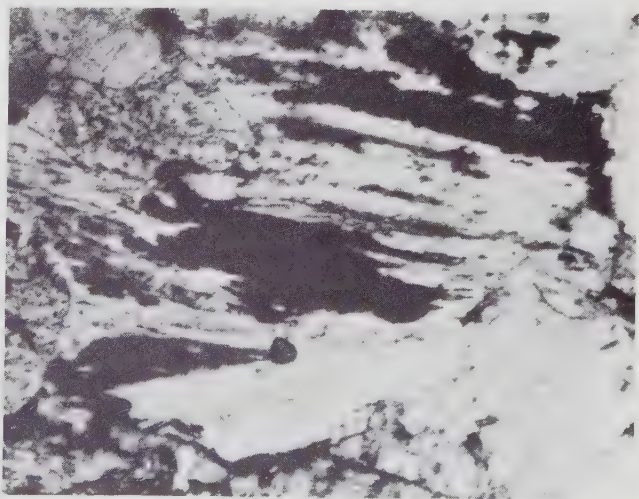
3



4



5



6

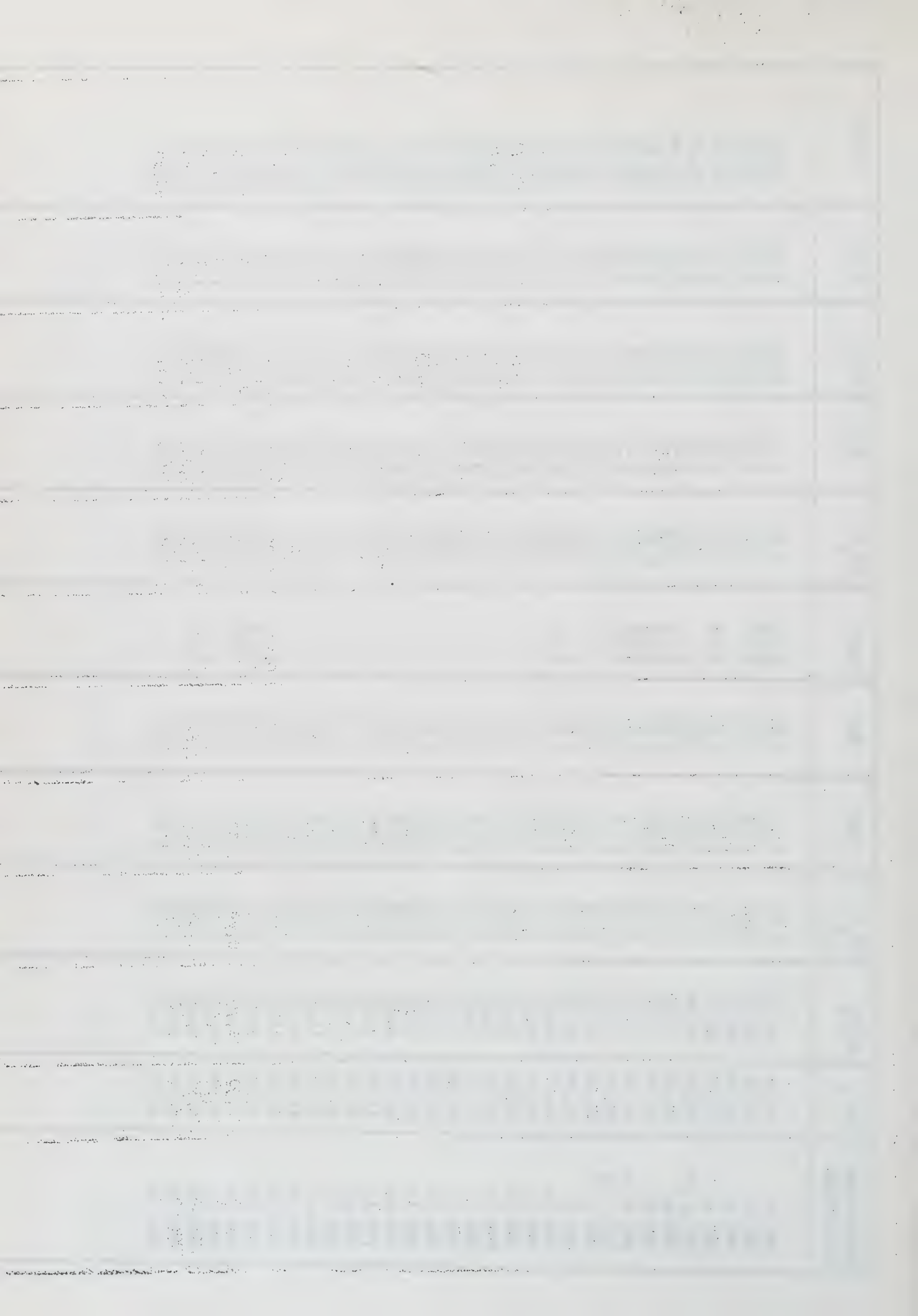
- A N N E X E S -

- ANALYSES CHIMIQUES -

References ROCHES TOTALES	Coordonnées Lambert Centre	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P.F.	TOTAL
VMR 18	344, 2-235, 2	75,40	13,60	0,93	0,07	-	0,24	3,55	3,89	0,14	1,44	99,26
20	344, 8-234, 7	74,30	14,40	1,53	0,06	0,25	0,34	3,49	4,23	0,26	1,53	100,39
21	344, 7-234, 1	74,30	14,00	1,18	0,03	0,20	0,93	3,44	4,38	0,06	1,60	100,12
23	341, 5-233, 2	72,20	14,80	1,93	0,05	0,54	0,74	3,16	5,24	0,24	1,11	100,01
24	341, 6-232, 7	71,80	14,50	1,97	0,03	0,54	0,93	2,95	4,72	0,25	1,60	99,29
25	341, 5-232, 3	72,00	14,80	1,53	0,05	0,24	0,59	3,50	4,93	0,24	1,37	99,25
26	343, 1-231, 2	71,90	14,60	1,97	0,04	0,29	0,44	3,20	4,87	0,16	1,52	98,99
27 c	342, 1-230, 9	75,00	14,40	1,18	0,04	-	-	4,00	3,95	0,02	1,30	99,89
27	342, 1-230, 9	73,60	14,20	1,43	0,04	0,15	0,30	3,36	4,84	0,14	1,26	99,32
28	341, 4-230, 6	73,40	14,30	1,40	0,04	-	0,34	3,50	4,87	0,14	1,49	99,48
29	341, 5-230, 2	72,00	14,90	1,86	0,04	0,39	0,44	2,99	5,33	0,31	2,08	100,34
30	342, 5-229, 6	73,40	13,90	1,48	0,05	0,05	1,23	3,64	4,04	0,10	1,47	99,36
31	342, 1-228, 9	72,90	14,20	2,31	0,04	-	0,39	3,49	4,58	-	1,55	99,46
32	341, 0-228, 7	73,40	14,30	1,03	0,04	0,10	1,62	3,25	4,82	0,35	1,52	100,43
33	341, 0-228, 1	72,50	14,40	1,03	0,04	0,05	0,98	3,40	5,08	0,35	1,33	99,16
34	341, 1-227, 6	73,80	14,95	0,98	0,02	0,10	0,20	3,29	4,92	0,20	1,60	100,67
35	340, 8-227, 2	73,40	14,20	1,33	0,04	0,14	1,13	3,25	4,83	0,41	1,42	100,15
36	342, 6-226, 6	73,70	13,55	1,28	0,03	0,05	1,53	3,46	4,99	0,35	1,06	99,56
37	342, 3-226, 0	71,00	14,90	1,13	0,03	0,34	0,98	3,35	5,22	0,37	1,37	98,69
39	341, 6-225, 1	74,50	14,10	0,49	0,03	0,05	0,84	3,16	5,52	0,30	1,30	100,29
41	340, 5-223, 9	72,50	15,00	1,18	0,05	0,05	1,48	3,60	4,83	0,37	1,31	100,37
42	340, 3-223, 7	70,80	15,25	1,82	0,03	0,64	1,67	3,10	4,87	0,55	1,62	100,35
43	310, 5-222, 9	70,50	14,80	2,05	0,03	0,70	2,15	3,00	5,55	0,64	-	99,43
44	341, 2-222, 2	71,30	14,25	1,62	0,03	0,54	1,03	2,65	5,65	0,51	1,67	99,25
45	343, 5-222, 1	71,20	14,50	1,63	0,04	0,44	1,48	2,37	7,21	0,45	1,17	100,49
46	341, 7-221, 7	70,10	15,10	1,57	0,03	0,78	1,08	2,84	5,39	0,51	1,89	99,29
47	342, 0-221, 0	70,60	14,80	1,63	0,04	0,44	1,18	2,76	5,67	0,27	1,32	98,71
48	342, 5-220, 3	69,20	15,60	2,65	0,04	0,78	0,59	3,04	4,76	0,57	1,85	99,08
50	342, 9-219, 5	67,90	13,55	1,37	0,04	0,95	0,93	2,81	5,43	0,19	2,80	99,45
52	342, 3-218, 2	78,80	17,10	2,26	0,04	0,93	0,19	3,24	5,75	0,35	1,71	100,37
53	342, 9-217, 9	73,10	14,60	1,13	0,03	0,44	0,76	2,76	6,17	0,14	1,18	100,31
54	342, 8-217, 4	74,90	14,20	1,28	0,03	0,34	0,39	2,80	5,12	0,15	1,50	100,71
55	341, 1-217, 2	70,00	15,10	1,97	0,04	0,69	0,93	2,56	6,16	0,37	1,35	99,17
56	341, 0-216, 4	66,40	15,70	5,32	0,08	1,51	0,39	2,34	4,00	0,64	2,41	98,79
60	343, 1-214, 4	70,50	15,10	3,13	0,07	0,78	0,63	3,08	2,89	0,37	2,06	98,61

Références BIOTITES	P.F.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ Total	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Total
VMR 18	5,96	42,80	23,90	16,45	0,60	1,69	0,19	0,51	5,45	1,41	93,96
20	10,01	31,00	21,40	28,80	0,80	5,22	0,81	0,22	0,72	1,49	-
23	1,70	34,40	20,25	25,56	0,33	5,60	0,29	0,39	8,06	2,83	99,41
CAV. A 46	2,54	34,10	18,00	25,34	0,30	6,38	1,51	0,14	7,11	3,04	98,46
VMR 24	4,18	32,60	18,20	26,83	0,34	6,03	0,72	0,19	5,84	2,74	97,67
VMR 25	3,53	34,70	19,50	26,53	0,38	5,50	1,20	0,43	5,98	3,01	100,76
VMR 26	4,09	34,50	20,15	25,89	0,46	5,75	0,48	0,38	6,14	2,82	100,66
VMR 27	10,45	31,80	21,50	26,41	0,50	3,71	0,40	0,13	1,88	2,68	99,46
VMR 29	8,55	29,70	20,70	27,89	0,33	5,99	0,77	0,18	1,41	2,54	98,06
CAV. A 94	1,79	36,30	20,00	25,53	0,65	3,73	0,29	0,49	7,76	2,04	98,58
VMR 30	3,98	35,50	21,90	25,44	0,80	2,83	0,77	0,43	5,95	1,90	-
VMR 31	9,09	36,80	23,10	24,09	0,30	1,63	0,41	0,32	3,32	1,63	100,69
VMR 32	9,30	29,50	20,90	29,53	0,60	3,45	0,95	0,04	1,09	2,60	97,79
VMR 33	4,56	34,40	21,00	27,67	0,53	3,62	0,67	0,28	5,72	2,31	100,76
VMR 34	5,39	36,00	21,60	23,65	0,51	4,73	-	0,19	5,58	2,15	99,80
VMR 35	2,46	36,10	20,50	25,36	0,47	3,65	0,53	0,34	7,51	2,86	99,78
VMR 36	3,12	34,90	20,70	26,15	0,35	4,50	-	0,24	7,55	2,55	100,06
VMR 37	2,90	35,90	20,40	22,33	0,28	5,24	-	0,29	7,47	2,44	97,25
VMR 39	4,68	36,20	21,35	23,35	0,65	3,91	-	0,24	6,48	1,83	98,69
VMR 41	1,58	36,40	20,90	27,55	0,57	2,31	-	0,39	7,77	1,85	99,32
VMR 42	2,71	37,00	17,50	24,81	0,26	5,83	0,92	0,24	7,59	2,62	99,48
VMR 43	3,01	37,30	17,85	23,27	0,27	6,01	0,09	0,43	7,47	2,23	97,93
VMR 44	2,95	38,30	19,40	22,32	0,35	5,53	-	0,34	7,57	2,44	99,20
VMR 45	3,00	34,40	17,50	25,70	0,33	5,33	0,19	0,34	7,66	2,71	97,16
VMR 46	9,55	32,10	19,90	25,78	0,25	6,78	0,05	0,27	1,90	2,95	99,53
VMR 47	2,30	34,70	18,60	24,91	0,41	5,66	0,78	-	7,52	2,65	97,53
VMR 48	1,97	35,30	18,60	24,01	0,29	6,74	0,44	0,39	7,64	2,98	98,09
VMR 50	2,36	33,70	20,10	24,90	0,35	5,95	-	0,49	7,32	2,54	97,71
VMR 52	3,29	34,80	20,30	22,70	0,31	6,82	-	0,19	7,06	2,65	98,12
VMR 53	5,01	35,10	20,10	23,74	0,40	6,55	0,14	0,19	6,36	2,52	100,20
VMR 54	4,66	34,80	19,80	25,26	0,34	5,24	0,05	0,19	6,48	2,53	99,35
VMR 55	2,41	35,60	18,55	22,44	0,33	6,54	0,44	0,29	7,90	3,08	97,58
VMR 56	2,10	35,24	20,55	22,02	0,33	7,83	0,73	0,34	8,22	2,64	100,00
VMR 57	3,96	38,40	20,75	20,17	0,32	6,82	-	0,19	7,10	2,74	100,45
VMR 58	2,49	35,60	18,90	19,99	0,32	8,77	-	0,48	7,12	2,57	96,24
VMR 60	3,14	35,40	19,30	25,18	0,60	6,34	0,09	0,38	7,16	2,28	99,87

Références MUSCOVITES	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ Total	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P.F.	TOTAL
VMR 18	44,50	35,00	2,82	0,12	0,81	0,19	0,76	9,47	0,32	4,35	98,34
VMR 20	44,90	34,60	2,24	0,07	1,05	0,28	0,76	9,75	0,55	4,40	98,60
VMR 21	52,80	29,75	2,01	0,09	1,15	-	1,10	8,44	0,42	4,06	99,82
VMR 23	48,90	30,65	1,77	0,04	0,81	0,09	1,15	9,29	0,98	4,20	97,88
CAV. A 46	46,00	34,10	2,15	0,04	1,00	-	0,96	9,39	0,84	4,18	98,66
VMR 24	48,40	31,80	1,77	0,03	0,95	0,14	1,05	9,57	0,95	4,24	98,90
VMR 25	47,40	31,40	2,44	0,06	1,00	0,48	0,81	9,57	1,03	4,24	98,45
VMR 27 c	47,40	31,20	3,54	0,11	0,52	0,52	0,81	9,37	0,44	4,34	98,30
CAV. A 94	44,00	33,90	4,59	0,06	0,71	0,67	0,10	9,56	0,86	4,35	99,70
VMR 30	48,30	31,75	3,25	0,15	0,81	0,76	0,67	9,27	0,42	4,39	99,77
VMR 31	47,90	32,90	2,25	0,10	0,81	-	0,81	9,28	0,38	4,27	98,70
VMR 32	46,60	34,30	1,28	0,06	0,90	0,57	1,00	9,42	0,43	4,81	99,37
VMR 33	47,80	34,45	1,53	0,03	1,60	-	0,85	5,56	0,38	4,33	100,06
VMR 34	48,80	33,10	1,89	0,04	1,23	-	0,61	8,99	0,72	5,33	100,71
VMR 35	46,80	34,40	1,81	0,05	1,00	-	0,95	9,35	0,68	4,55	99,59
VMR 36	47,20	33,80	1,32	0,02	0,94	-	0,80	8,77	0,54	5,63	99,02
VMR 37	49,20	34,40	1,14	0,02	0,76	-	1,00	8,79	0,53	4,45	100,29
VMR 39	47,50	33,65	1,33	0,06	1,04	-	0,80	9,21	0,32	4,97	98,88
VMR 41	46,90	34,90	2,25	0,08	0,95	-	0,95	9,28	0,55	4,29	100,15
VMR 42	47,00	34,35	1,36	0,03	1,13	-	0,99	9,22	0,88	5,89	100,85
VMR 43	47,40	33,40	2,42	0,06	1,04	-	0,61	9,30	0,47	5,11	99,81
VMR 44	46,90	33,55	1,47	0,04	1,13	-	0,66	8,91	1,08	5,20	98,94
VMR 45	46,80	33,05	1,13	0,03	1,13	-	1,04	9,35	0,73	5,52	98,78
VMR 46	47,50	34,20	1,61	0,02	1,37	-	0,52	9,02	1,19	4,99	100,42
VMR 47	47,40	34,45	1,43	0,04	1,00	-	0,95	9,47	0,74	4,32	99,80
VMR 48	46,80	34,40	1,57	0,04	1,14	-	0,76	9,08	1,11	4,42	99,35
VMR 50	46,80	34,90	0,81	0,03	0,90	0,19	1,00	9,45	0,61	4,48	99,17
VMR 52	47,30	33,40	1,20	0,02	1,02	0,23	0,79	8,35	0,85	7,19	100,35
VMR 53	46,90	34,70	0,99	0,02	1,04	-	0,80	8,72	0,74	5,12	99,03
VMR 58	47,30	34,40	1,43	0,06	1,14	1,43	0,76	0,84	1,05	4,51	100,48
VMR 59	46,30	36,75	1,05	0,03	0,62	-	1,05	5,44	0,06	4,57	99,87
VMR 60	45,80	35,80	1,29	0,04	0,71	-	1,00	5,45	0,34	4,52	98,95

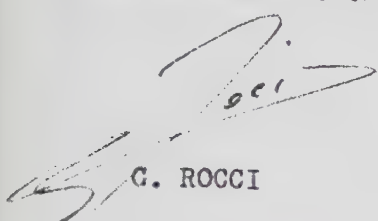


NOM : RENARD Jean Paul

Nature de la thèse : DOCTORAT ES SCIENCES NATURELLES

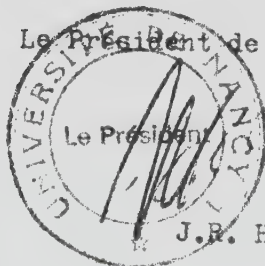
VU et transmis

Le Directeur de l'U.E.R. STMCM


G. ROCCI

VU et permis d'imprimer

Le Président de l'Université NANCY 1



J.R. HELLUY



